

**DESARROLLO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CALCULAR Y  
OPTIMIZAR MATERIAL REQUERIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TUBERÍAS  
DE ACERO  
(INDUSTRIAS DEL PACÍFICO S.A.S.)**

MIGUEL ÁNGEL ZAPATA BELTRÁN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA

13 DICIEMBRE 2018

**DESARROLLO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CALCULAR Y  
OPTIMIZAR MATERIAL REQUERIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TUBERÍAS  
DE ACERO  
(INDUSTRIAS DEL PACÍFICO S.A.S.)**

**MIGUEL ÁNGEL ZAPATA BELTRÁN**

Práctica Conducente a Trabajo de Grado

Director Trabajo de Grado  
Ing., M.Sc. ALEXANDER DÍAZ  
Profesor – Universidad Tecnológica de Pereira

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA

13 DICIEMBRE 2018

**DESARROLLO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CALCULAR Y  
OPTIMIZAR MATERIAL REQUERIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TUBERÍAS  
DE ACERO  
(INDUSTRIAS DEL PACÍFICO S.A.S.)**

*Nota de Aceptación*

---

---

---

---

Alexander Díaz, M.S.c

***Director***

---

***Director Programa Ingeniería Mecánica***

Pereira, 13 de Diciembre de 2018

# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1 OBJETIVOS .....	10
1.1.1 Objetivo general .....	10
1.1.2 Objetivos específicos .....	10
1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO .....	10
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>12</b>
<b>CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS CON COSTURA.....</b>	<b>12</b>
2.1 ORGANIGRAMA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS EN INDUSTRIAS DEL PACIFICO .....	12
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS CON COSTURA.....	13
2.2.1 Recepción del material .....	13
2.2.2 Corte a las láminas .....	15
2.2.3 Curvado de láminas .....	16
2.2.4 Unión mediante aplicación de soldadura .....	17
2.2.5. Inspección de soldadura.....	19
2.2.6 Acabado final de las tuberías .....	24
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>25</b>
<b>CÁLCULO DE MATERIAL PARA EL PROYECTO ASIGNADO .....</b>	<b>25</b>
3.1 PROYECTO ASIGNADO.....	25
3.2 CANTIDAD DE MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DEL PROYECTO ASIGNADO .....	26
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>34</b>
<b>DESARROLLO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL .....</b>	<b>34</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL .....	34
4.2 VENTAJAS DE IMPLEMENTAR EL PROGRAMA COMPUTACIONAL .....	35
4.3 CONFIGURACIÓN EN EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C# .....	35
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>41</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL .....</b>	<b>41</b>

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL PROYECTO ASIGNADO .....	41
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	44
5.3 VALIDACIÓN DEL PROGRAMA .....	53
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	54
6.2 APORTES .....	55
6.3 RECOMENDACIONES .....	55
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>
ANEXO A .....	60
ANEXO B .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Organigrama de Industrias del Pacifico. ....	12
<b>Figura 2.</b> Formato de inspección de material de Industrias del Pacifico. ....	14
<b>Figura 3.</b> Oxicorte empleado por Industrias del Pacifico. ....	15
<b>Figura 4.</b> Máquina de plasma empleada por Industrias del Pacifico. ....	16
<b>Figura 5.</b> Máquina roladora utilizada en la empresa. ....	17
<b>Figura 6.</b> Tuberías de diámetro 24” (Proyecto asignado). ....	18
<b>Figura 7.</b> Tuberías de diámetro 36” (Proyecto asignado). ....	19
<b>Figura 8.</b> Formato de registro de inspección visual a soldaduras. ....	20
<b>Figura 9.</b> Formato de inspección a soldaduras por tintas penetrantes. ....	22
<b>Figura 10.</b> Diseños de tira para tuberías con diámetros entre 14” hasta 60” (Dimensiones en mm). ....	27
<b>Figura 11.</b> Diseño de tira para tubería de 24” (Dimensiones en mm). ....	28
<b>Figura 12.</b> Nueva configuración para tubería de 24” (Dimensiones en mm). ....	30
<b>Figura 13.</b> Esquema de los resultados obtenidos en el segundo cálculo. (Dimensiones de sobrantes en mm). ....	31
<b>Figura 14.</b> Esquema configuración de sobrantes de la última optimización. ....	32
<b>Figura 15.</b> Datos de entrada y salida considerados para el programa computacional. ....	36
<b>Figura 16.</b> Diagrama de flujo del algoritmo del programa. ....	38
<b>Figura 17.</b> Icono del programa computacional Piping Design Mz97. ....	42
<b>Figura 18.</b> Foto tomada al menú principal del programa. ....	42
<b>Figura 19.</b> Foto tomada a la opción peso total a instalar. ....	42
<b>Figura 20.</b> Foto tomada a la interfaz de respuesta (resultados cantidad de láminas). ....	43
<b>Figura 21.</b> Foto tomada a la interfaz de respuesta (resultados peso total a instalar). ....	43
<b>Figura 22.</b> Foto tomada durante la implementación del programa computacional. ....	43
<b>Figura 23.</b> Gráfico del desempeño del programa computacional. ....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Proyecto asignado.....	25
<b>Tabla 2.</b> Cantidad de láminas requeridas para el proyecto asignado. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Comparación de resultados en forma individual. ....	44
<b>Tabla 4.</b> Comparación de resultados en forma colectiva. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Comparación de tiempos empleados. ....	46
<b>Tabla 6.</b> Requerimientos del proyecto Prueba 2.....	47
<b>Tabla 7.</b> Comparación de resultados Prueba 2.....	47
<b>Tabla 8.</b> Requerimientos del Proyecto Prueba 3.....	48
<b>Tabla 9.</b> Comparación de resultados Prueba 3.....	48
<b>Tabla 10.</b> Requerimientos del Proyecto Prueba 4.....	49
<b>Tabla 11.</b> Comparación de resultados Prueba 4.....	49
<b>Tabla 12.</b> Requerimientos del Proyecto Prueba 5.....	50
<b>Tabla 13.</b> Comparación de resultados Prueba 5.....	50
<b>Tabla 14.</b> Requerimientos del Proyecto Prueba 6.....	51
<b>Tabla 15.</b> Comparación de resultados Prueba 6.....	51





# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

Las empresas contratistas que ofrecen productos y servicios metalmecánicos, civiles, eléctricos y de instrumentación, juegan un papel importante en el desarrollo de la Industria Colombiana, porque son los encargados de aplicar ingeniería para la construcción, modificación e instalación de la mayor parte de los proyectos de la empresa privada.

Es importante para estas empresas contar con procedimientos y métodos de ingeniería que sean prácticos, fáciles de aplicar y rápidos, para responder a los requerimientos de sus clientes de manera oportuna. De esto dependen sus contrataciones para garantizar volúmenes de venta y flujo de caja para su subsistencia en la Industria Colombiana. Parte de estos métodos de ingeniería se basan en automatizar sus procesos, implementando herramientas como software de diseño para aprovechar al máximo su recurso humano y minimizar los tiempos de respuesta.

Para este proyecto específico, la Firma Industrias del Pacifico S.A.S. pretende incluir un método de ingeniería que cumpla con estos aspectos, con el fin de ser más competitivos y tener más probabilidades de éxito en la adjudicación de contratos.

Es por esta razón que el siguiente trabajo consiste en desarrollar un programa computacional que permita calcular y optimizar el material requerido en la fabricación de tuberías con costura de grandes diámetros en acero inoxidable o acero al carbón. La base del programa parte de un proyecto asignado por el Director de Proyectos de Industrias del Pacifico, el cual está destinado a la construcción y cambio de tuberías para vapores vegetales de los evaporadores de un Ingenio Azucarero.

El programa se validará mediante la comparación de los resultados con los obtenidos por parte del Director de Presupuestos de la empresa. Se espera que una vez validado el funcionamiento del programa, se generen las memorias respectivas, para que la empresa lo implemente en el cálculo de material de futuros proyectos, garantizando una respuesta oportuna y confiable para la ejecución de los mismos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Desarrollar un programa computacional que permita calcular y optimizar el material necesario para la construcción de tuberías de acero con costura de grandes diámetros.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

1. Revisar la información técnica respecto a las normas, estándares, máquinas y herramientas empleadas por la empresa Industrias del Pacifico para la fabricación de tuberías con costura.
2. Diseñar una estrategia metodológica que permita desarrollar e implementar un programa computacional, para la estandarización y optimización del proceso de cálculo de material.
3. Calcular mediante el programa computacional, la cantidad de material requerido para la construcción de tuberías de un proyecto asignado por Industrias del Pacifico.
4. Validar el funcionamiento del programa y analizar su efectividad mediante la comparación de los resultados con los obtenidos por parte del Director de Presupuestos de la empresa.
5. Generar la información técnica del proyecto, con el fin de dejar en la empresa las memorias del programa, para desarrollar el cálculo de material de futuros proyectos.

## **1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO**

En el Capítulo 2 se definirá detalladamente el procedimiento que posee Industrias del Pacifico para la fabricación de tuberías de grandes diámetros con costura. En este Capítulo será posible identificar cada una de las actividades involucradas al igual que las normas, estándares, formatos, máquinas y herramientas empleadas por la empresa. De esta manera, se pretende dar cumplimiento al objetivo específico número uno.

En el Capítulo 3 se plantearán las ecuaciones pertinentes del proceso de cálculo de material que actualmente se utiliza en la empresa. A partir de dichas ecuaciones, se calculará la cantidad de láminas de acero inoxidable requeridas para el proyecto asignado por parte del Director de Proyectos.

En el Capítulo 4 se planteará la configuración inicial de los algoritmos y del diseño del programa. A partir de los cálculos realizados en el Capítulo 3, se pretende analizar las variables involucradas en el proceso para luego diseñar una estrategia metodológica que permita desarrollar e implementar el programa computacional.

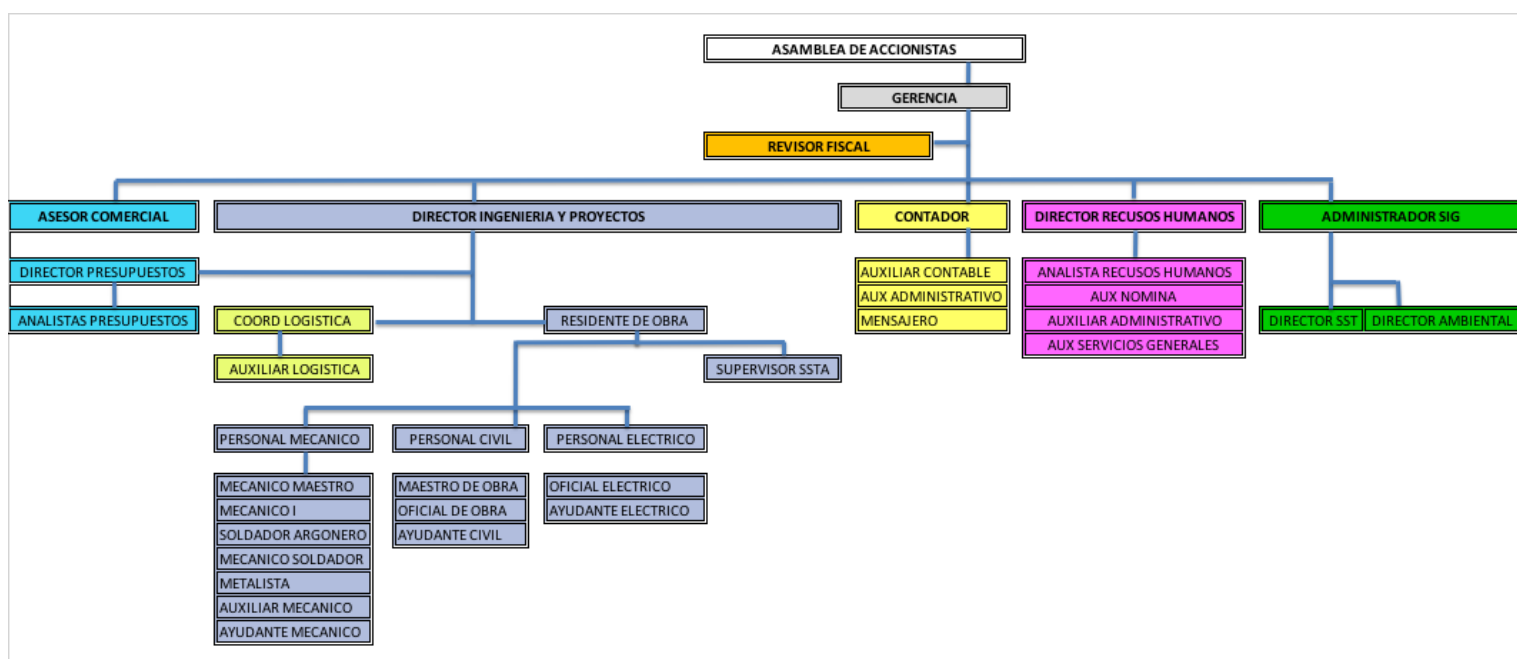
Con el fin de dar cumplimiento a la finalidad y condición definidas en el tercer y cuarto objetivo específico, el Capítulo 5 está dedicado a la implementación y validación del programa. En la primera parte, se calculará mediante el programa computacional, la cantidad de material requerido para el proyecto asignado. Los resultados serán comparados con los obtenidos en el Capítulo 3, y a partir de dicha comparación, se analizará la efectividad del programa y se efectuará la validación del mismo.

## CAPÍTULO 2

# CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS CON COSTURA

## 2.1 ORGANIGRAMA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS EN INDUSTRIAS DEL PACIFICO

Para desarrollar proyectos metalmecánicos y civiles, la empresa cuenta con varios procesos, entre los cuales se destacan: administración, planeación de proyectos, logística, sistemas de gestión de seguridad y medio ambiente, tal como se observa en el siguiente organigrama:



**Figura 1.** Organigrama de Industrias del Pacifico.

Un proyecto debe pasar primero por el área comercial y técnica (proceso de planeación) donde se analiza la viabilidad de este, a través de una oferta económica enviada por el cliente

quien ha solicitado los servicios por medio de una licitación. Para ello, se revisa el alcance y se realiza un presupuesto incluyendo todos los recursos a utilizar como materiales, consumibles, mano de obra y equipos, entre otros.

Cuando un proyecto hace referencia a la construcción e instalación de tuberías de acero de grandes diámetros, la revisión técnica de las ofertas o licitaciones, comienza con los planos de diseño constructivos de los clientes, a partir de los cuales se debe determinar las cantidades de material requerido para realizar el proyecto. Una vez se ha calculado la cantidad de material requerido, se pasa el listado de materiales al área comercial, para realizar la cotización y poder dar respuesta a la licitación establecida por el cliente. En caso de que el cliente acepte las condiciones que plantea la empresa a través de un contrato, se da paso a la construcción y ejecución del proyecto.

## **2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS CON COSTURA**


Las tuberías son de gran importancia en toda planta industrial, ellas se encargan de conducir los fluidos de un lugar a otro de una manera segura, optimizando el proceso de producción y conservando las propiedades del fluido. Es por esta razón que los ingenieros de la empresa, realizan un seguimiento a cada una de las actividades del proceso de fabricación de tuberías. Las actividades involucradas son:

### **2.2.1 Recepción del material**

El proceso de construcción empieza con la recepción del material comprado a las ferreterías, en este caso particular, se trata de láminas de acero inoxidable que generalmente se compran con dimensiones de 5x10 ft o 5x20 ft, o también de acero al carbón con dimensiones de 4x8 ft o 6x20 ft.

Durante la recepción del material, se hace énfasis en el control dimensional de cada lámina, con el objetivo de corroborar que lo solicitado haya sido lo entregado. Para esto, se realiza un análisis al material, el cual incluye la medición de espesores. Esta actividad se ejecuta basándose en la norma ASTM A 6, la cual permite comprobar si las medidas obtenidas están

dentro del rango de tolerancias permitido. También se debe de corroborar que los certificados de calidad correspondan a los lotes suministrados por el proveedor. Toda la información corroborada debe quedar registrada en un formato de inspección de material establecido por la empresa, tal como se muestra en la figura 2.

 <b>INDUSTRIAS DEL PACIFICO</b> <small>S.A.S. Ingeniería para la Industria MIT 800.201.735-1</small>	<b>GESTIÓN PROYECTOS</b>				<b>FECHA DE APROBACIÓN:</b> Noviembre 18 de 2016			
	<b>FICHA INSPECCIÓN EN RECEPCIÓN DE MATERIALES</b>				<b>VERSIÓN:</b> 01		<b>PÁGINAS:</b> 1 de 1	
<b>FECHA:</b>			<b>MODULO:</b>			<b>SITIO DE TRABAJO:</b>		
<b>OBRA:</b>								
<b>CENTRO DE TRABAJO:</b>								
<b>MATERIAL:</b>								
<b>LOTE/REMISIÓN:</b>					<b>PROVEEDOR:</b>			
<b>CERTIFICADO DE CALIDAD:</b>								
<b>INSPECCIONES REALIZADAS</b>	<b>Responsable</b>	<b>Criterios de aceptación</b>			<b>Resultado</b>	<b>Aceptado Fecha</b>	<b>Rechazado Fecha</b>	<b>Firma</b>
<b>Recepción de Material</b>								
Guía de despacho	Almacenista,	Orden de compra						
Estado	Ingeniero	Sin Roturas / degradaciones y/o imperfecciones						
Certificado de calibración /Calidad	residente	Recibido						
<b>Inspección : seleccionar con una "x" el material a analizar</b>								
<b>ASTM A-588</b>		<b>ASTM A-572 GR 50</b>			<b>ASTM A-500</b>			
<b>LAMINAS</b>		<b>PERFILES</b>			<b>Observación</b> _____ _____ _____ _____			
<b>CANTIDAD</b>		<b>ALTO</b>						
<b>ESPESOR</b>		<b>ANCHO</b>						
<b>LONGITUD</b>		<b>LARGO</b>						
<b>ANCHO</b>		<b>ESPESOR</b>						
<b>RESISTENCIA DEL ACERO</b>								
<b>Inspección : seleccionar con una "x" el material a analizar</b>		<b>Límite Mínimo</b>	<b>Límite Máximo</b>		<b>Resultado</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Rechazado</b>	<b>Firma</b>
<b>ASTM A-588 GR C</b>								
<b>Especificaciones Mecánicas</b>								
MPA		345						
<b>Resistencia a Tracción</b>								
MPA		485						
<b>ASTM A-572 GR 50</b>								
<b>Especificaciones Mecánicas</b>								
MPA		345						
<b>Resistencia a Tracción</b>								
MPA		450						
<b>ASTM A-500</b>								
<b>Especificaciones Mecánicas</b>								
<b>Límite elástico</b>								
		<b>Grado A</b>	<b>Grado B</b>	<b>Grado C</b>				
MPA		269	317	345				
<b>Límite tracción</b>								
MPA		310	400	427				
<b>DOCUMENTACIÓN QUE SE ADJUNTA</b>								
* Anexar copia de remisión.								
* Anexar copia de certificado								
<b>RESULTADO:</b>	<b>ACEPTADO</b> <input type="checkbox"/>		<b>PENDIENTE</b> <input type="checkbox"/>		<b>RECHAZADO</b> <input type="checkbox"/>			
<b>Residente</b>					<b>Encargado calidad</b>			
<b>Fecha y firma</b>					<b>Firma</b>			

**Figura 2.** Formato de inspección de material de Industrias del Pacifico.

### 2.2.2 Corte a las láminas

Estas láminas requieren ser cortadas con las dimensiones que han sido establecidas por el área técnica al momento de calcular la cantidad de material. Por esta razón, el área técnica debe suministrar a los operarios, toda la información del proceso de trazo y corte, junto con los planos y especificaciones pertinentes para proceder con el corte a las láminas. En esta parte del proceso, se realiza el corte mediante dos métodos:

- **Corte por Oxicorte:** este método se basa en una reacción química entre oxígeno puro y acero para formar óxido de hierro. Puede describirse como una oxidación rápida y controlada. Se utilizan llamas de precalentamiento para elevar la temperatura de la superficie de las láminas de acero a 870 °C aproximadamente. Dichas llamas, están compuestas por una mezcla de gas propano o acetileno y de oxígeno en una proporción adecuada que produzca la máxima temperatura. Después, se aplica oxígeno puro hacia el área calentada en forma de un haz fino y a alta presión, largo y uniforme para obtener una mayor calidad de corte. A medida que el acero se oxida, se forma una cavidad y el haz se va desplazando a velocidad constante para formar un corte continuo. (Lopez, 2015).

En la empresa se utiliza el equipo de oxicorte para cortar láminas en acero al carbón. En la figura 3 se muestra uno de los equipos de oxicorte de la empresa.



**Figura 3.** Oxicorte empleado por Industrias del Pacífico.

- **Corte por Plasma:** es un proceso que utiliza un chorro de alta velocidad de gas ionizado, que se envía desde un orificio de constricción. La alta velocidad del gas ionizado, que es el plasma, conduce la electricidad desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo. El plasma calienta las láminas de acero lo suficiente como para derretirlas y hacer un corte sobre las mismas.

Los cortes con plasmas brindan mayor productividad que el oxicorte, ya que la velocidad de corte es mayor, estos producen menos escoria, menos pandeo y una menor zona afectada por el calor. Además, no hay gases que regulan ni sustancias químicas inflamables que controlar. (Hypertherm, Inc., 2007).

En la empresa se utiliza el equipo de plasma para cortar láminas en acero inoxidable. En la figura 4 se muestra uno de los equipos de plasma de la empresa.



**Figura 4.** Máquina de plasma empleada por Industrias del Pacifico.

### 2.2.3 Curvado de láminas

En esta parte del proceso, se realiza la deformación total de la lámina llevándola a la forma cilíndrica con el diámetro deseado. Estos procesos deben garantizar que el material conserve sus propiedades mecánicas de resistencia, rigidez y esfuerzos internos, después de haber sido sometido a deformación. Para ello, se emplea una máquina roladora. La máquina roladora utilizada en la empresa cuenta con tres rodillos, que le permite rolar láminas hasta  $\frac{3}{4}$ " de espesor y de 1,8 m de longitud. En la figura 5 se muestra la máquina roladora utilizada en la empresa.





**Figura 5.** Máquina roladora utilizada en la empresa.

#### **2.2.4 Unión mediante aplicación de soldadura**

La lámina doblada debe ser unida para que obtenga completamente la forma de un tubo; esta unión se realiza mediante la aplicación de soldadura, basándose en Normas ASME (Procesos industriales vapor de alta, vapor de escape, condensados, recipientes a presión) o API (Tuberías oleoductos y tanques atmosféricos), de acuerdo a los requerimientos de los procesos del cliente.

La empresa cuenta con varios procesos para la aplicación de soldadura y son completamente aplicables a las tuberías en cuestión, la selección de estos depende del tipo de material, el espesor, y también de las especificaciones que el cliente suministre. Los procesos empleados por la empresa son:

- Flux Cored (FCAW): es un proceso de soldadura con arco eléctrico diseñado para el acero al carbón, acero inoxidable y acero de baja aleación. Utiliza un arco eléctrico para producir coalescencia entre un electrodo metálico auxiliar tubular continuo y el material base, y puede hacerse con o sin un gas de protección. (Soldexa, 2015).
- MIG-GMAW (Metal Inert Gas – Gas Metal Arc Welding): este tipo de soldadura consiste en mantener un arco de electrodo consumible de hilo sólido y la pieza que se va a soldar. El arco y el baño de soldadura están protegidos mediante un gas inerte. El proceso de

soldado MIG, se puede emplear para soldar diversos materiales como aceros al carbón, aceros inoxidable, entre otros. La productividad por este tipo de soldadura es eficiente, dado la capacidad de rendimiento por un electrodo continuo que no necesita ser cambiado. (Soldexa, 2015).

- TIG-GTAW (Tungsten Inert Gas – Gas Tungsten Arc Welding): es un proceso de soldadura por arco eléctrico, que se establece entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, bajo la protección de un gas inerte que evita el contacto del aire con el baño de fusión y con el electrodo, que se encuentran a alta temperatura. El electrodo de tungsteno está sujeto a una torcha que le trasmite la corriente eléctrica e inyecta el gas de protección; puede estar refrigerada y es alimentada por una fuente de poder que puede ser de corriente continua o alterna. Este tipo de soldadura, permite soldar en toda posición y todos los metales. (Soldexa, 2015).

Cabe mencionar que el proceso de soldadura es el proceso más crítico en la fabricación de tuberías. Por esta razón, se deben expresar de forma clara y fundamentada los procedimientos y especificaciones pertinentes para una correcta ejecución.

Generalmente, se hace necesario unir dos o más tramos de tubería para cumplir con las longitudes establecidas por el cliente. Esta unión, se realiza tal cual se ha mencionado anteriormente. En las figuras 6 y 7, se muestran tuberías de 24” y 36” respectivamente.



**Figura 6.** Tuberías de diámetro 24” (Proyecto asignado).



**Figura 7.** Tuberías de diámetro 36” (Proyecto asignado).

#### **2.2.5. Inspección de soldadura**

Para finalizar el proceso constructivo, se pule y se limpia la escoria de la soldadura en la parte superficial, además se realiza inspección visual al 100% de las uniones. La inspección visual aplicada conscientemente por personal experimentado, permitirá identificar las superficies que incumplen las especificaciones, facilita la corrección de defectos durante el proceso de fabricación para evitar su rechazo posterior, y reduce la necesidad de ensayos posteriores. El principio básico utilizado en la inspección visual es sencillo, ya que consiste en iluminar la zona a inspeccionar con luz, generalmente visible, observándola ya sea por visión ocular directa o por visión ocular utilizando medios auxiliares (lupas, microscopios, fibra óptica, etc.), o por medios artificiales (células, captadores fotoeléctricos). En cualquier caso es fundamental que las superficies a inspeccionar estén iluminadas adecuadamente y que, como fase previa, hayan sido sometidas a un proceso de limpieza. Cabe mencionar que sí en la inspección visual se encuentran defectos en la soldadura, estos deben ser corregidos antes de la realización de los ensayos no destructivos.

Las inspecciones visuales realizadas debe quedar registrados en un formato de registro de inspección a soldaduras establecido por la empresa, tal como se muestra en la figura 8.

INDUSTRIAS DEL PACÍFICO		REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL A SOLDADURAS									
PROYECTO:				REGISTRO No.:				Pag.		de	
CLIENTE:				FECHA:							
EQUIPO:				CRITERIO DE ACEPTACIÓN SEGÚN CÓDIGO:							
PLANO:				UBICACIÓN:							
JUNTA	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	ESPESOR	MARCA PIEZA	ESTAMPE SOLDADOR		WPS	TIPO DE JUNTA	LOCALIZACIÓN	INSP. VISUAL	OBSERVACIONES	
				1	2						
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
OBSERVACIONES:											
	Nombre		Cargo		Firma		Fecha				
Elaboró:											
Revisó:											
Aprobó:											

**Figura 8.** Formato de registro de inspección visual a soldaduras.

En algunos casos, cuando el cliente lo solicite, la empresa sub contrata a un personal certificado para realizar ensayos no destructivos y evaluar la calidad al 10% de las uniones realizadas. Esto es necesario debido a que para estas pruebas se emplean conocimientos más amplios, para poder discernir si las discontinuidades que se presentan son debidas a defectos de la soldadura, si son debidas a la estructura del material y si deben ser reparadas o son calificadas como aceptables, según la norma en la que se base.

Los datos obtenidos en la inspección por ensayos no destructivos, también deben de quedar registrados en un formato de inspección a soldadura, el cual está establecido por la empresa

y por el personal sub contratado. Dentro de los ensayos no destructivos empleados por el personal sub contratado y supervisado por los ingenieros de la empresa, se encuentran:

- **Tintas Penetrantes:** procedimiento que se emplea para encontrar defectos o discontinuidades superficiales (como poros, grietas, fisuras, entre otras) en materiales sólidos no porosos. Se utiliza un líquido que, al aplicarlo sobre la superficie de la muestra, penetra por capilaridad en las discontinuidades. Independientemente del tipo de líquido penetrante utilizado, existen dos métodos de ensayo claramente definidos: los ensayos con penetrantes fluorescentes y con penetrantes coloreados.
  - **Penetrantes fluorescentes:** son los que incorporan en su composición un pigmento fluorescente claramente visible en cámara oscura bajo iluminación con luz negra adecuada. Es el método más sensible, pero requiere del uso de una lámpara de luz negra de 3300 a 3900 Armstrong.
  - **Penetrantes coloreados:** consisten en disoluciones de pigmentos fuertemente coloreados en disolventes apropiados. El color más utilizado es el rojo, y la tendencia más generalizada es hacia los disolventes orgánicos no inflamables (hidrocarburos halogenados). Tienen la ventaja de que no se necesita una fuente luminosa especial para su observación, razón por la cual son ampliamente utilizados en inspecciones a pie de obra.

Independientemente del método, el procedimiento se resume en aplicar sobre la superficie preparada, el líquido penetrante. Después se elimina el exceso de líquido penetrante y se aplica otro líquido conocido como revelador, cuya función es absorber al penetrante y producir exactamente sobre la superficie con discontinuidades, una indicación o marca visual. Después de que el revelador haya secado, se debe dejar pasar suficiente tiempo para que el penetrante salga de las discontinuidades. Este tiempo dependerá del tipo y tamaño de las discontinuidades. Sin embargo, las discontinuidades más cerradas producen una indicación entre 5 y 7 minutos. Es conveniente observar las indicaciones desde el momento en que empiezan a formarse con el fin de poder determinar mejor su forma. En esta parte es posible obtener indicaciones falsas, que no corresponden a discontinuidades y que pueden ser originadas por limpieza defectuosa, manipulación poco cuidadosa o geometría irregular

de la pieza; así que se debe tener experiencia para saber cuando es una indicación falsa o cuando es imperfección. En caso de que se identifiquen imperfecciones, se emplea la máquina pulidora para retirar las discontinuidades y se prepara la pieza para aplicar nuevamente soldadura.

Los criterios de aceptación aplicables a este método, son los mismos que para la inspección visual (AWS D.1.1 Tabla 6.1. Criterio de aceptación de inspección visual).

El formato de inspección visual y de inspección a soldadura por medio de tintas penetrantes, se muestran en las figura 9.

 <b>INDUSTRIAS DEL PACÍFICO</b> <small>INDUSTRIAS Y SERVICIOS</small>	<b>GESTIÓN PROYECTOS</b> <b>PM</b>		<b>FECHA DE APROBACIÓN:</b> Noviembre 18 de 2016		
	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA</b>		<b>VERSIÓN:</b> 01	<b>PÁGINAS:</b> 1 de 1	
<b>Fecha</b>	<b>Tipo De Ensayo</b>		<b>Obra</b>		
<b>Penetrante</b>	<b>Marca</b>			<b>Modo de aplicación</b>	
	<b>Tipo</b>	Colorado <input type="checkbox"/> Post emulsificante <input type="checkbox"/> Lavable con agua <input type="checkbox"/> Fluorescente <input type="checkbox"/> Removible con solvente <input type="checkbox"/>	aerosol <input type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Pincel <input type="checkbox"/>		
		<b>Tiempo de interpretación</b>			
<b>Emulsificador</b>	<b>Marca:</b>			<b>Revelador</b>	
	<b>Tipo:</b>				
	<b>Tiempo:</b>				
	<b>Remoción:</b>				
<b>Norma de evaluación:</b>		<b>Tiempo de revelado</b>			
		<b>Tiempo de interpretación</b>			
<b>Limpieza previa:</b>		<b>Secado:</b>		<b>Iluminación:</b>	
<b>Temperatura de la superficie:</b>		<b>Limpieza final:</b>			
<b>Notas adicionales:</b>					
<b>ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA A INSPECCIONAR</b>					
<b>Designación de junta</b>	<b>Tipo de junta</b>	<b>Indicaciones relevantes/observaciones</b>		<b>Resultado</b>	
		<b>INSP. VISUAL</b>	<b>INSP. POR TINTAS</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Rechazado</b>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nomenclatura: S.I : Sin indicaciones; P.M : Poro que pasa; P.N : Poro no pasa; S.C.P Socavado que pasa; S.C.N : Socavado excesivo; GS : grieta superficial; GL : Grieta lateral					
<b>Inspeccionado por:</b>					

**Figura 9.** Formato de inspección a soldaduras por tintas penetrantes.



- **Ultrasonido:** en la ingeniería es utilizado para conocer el interior de un material o sus componentes según la trayectoria de la propagación de ondas sonoras, lo que permite evaluar la forma, tamaño y orientación de una discontinuidad. En el método ultrasónico se utilizan instrumentos que transmiten ondas, que pueden ser sónicas (comprendidas en el intervalo de frecuencias entre 20 y 500 kHz) o ultrasónicas (con frecuencias superiores a 500 kHz). (L. Adler, 1972). Existen diversos sistemas de ensayo mediante ultrasonidos:
  - **Sistema impulso-eco:** es el sistema más utilizado. Se transmiten, al material a ensayar, impulsos ultrasónicos periódicamente desfasados y de corta duración. Estos impulsos se reflejan en las discontinuidades que encuentran en su camino y en los contornos de la pieza, y son captados por un palpador y convertidos en indicaciones analizables en la pantalla de un tubo de rayos catódicos. Generalmente se emplea un solo palpador que hace las veces de emisor y receptor de los impulsos, aunque pueden emplearse dos palpadores, actuando uno sólo como emisor y el otro como receptor.
  - **Sistema de transmisión:** se pueden emplear impulsos intermitentes o continuos. Un palpador emite las ondas ultrasónicas, alineado con otro que las recibe, y por la energía perdida por el impulso al llegar al receptor se obtiene información sobre la pieza.
  - **Sistema de resonancia:** haciendo uso de este fenómeno, este sistema se emplea para determinar espesores y estudiar la calidad de piezas plaqueadas y, en menor grado, para detectar discontinuidades.
  - **Ensayo por contacto:** en el ensayo ultrasónico por contacto, el palpador se sitúa en contacto directo con la superficie del material a analizar. El acoplamiento se efectúa a través de una delgada capa de acoplante, generalmente semilíquido. El ensayo por contacto es el más empleado en inspecciones en obra, ya que estos equipos son generalmente portátiles.

La forma de la pieza es muy importante a la hora de evaluar indicaciones. Las superficies angulosas pueden causar conversión de ondas. Las piezas largas producen indicaciones confusas debido a la divergencia del haz. La estructura interna, el tamaño de grano y su

orientación influyen también en el ensayo. La excesiva porosidad produce el mismo efecto que un grano grueso, pérdidas de amplitud en el eco de fondo.

- **Radiografía:** las radiaciones X y gamma tienen la propiedad de penetrar y atravesar materiales e impresionar las emulsiones fotográficas, obteniéndose así unos registros permanentes. La distribución variable de la intensidad de la radiación que emerge del objeto radiografiado se debe a las diferencias de espesor o a la presencia de sustancias extrañas al material que lo constituye. Tanto rayos X como rayos gamma son radiaciones electromagnéticas con una longitud de onda mucho más corta que la de la luz, pero con una energía irradiada mucho mayor. Para el análisis radiográfico se pueden utilizar ambos tipos de fuentes: generadores de rayos X y emisores de rayos gamma.

#### **2.2.6 Acabado final de las tuberías**

Una vez fabricadas las tuberías y aprobadas por el ingeniero de calidad, estas pasan al proceso de acabado final. Las tuberías en acero al carbón pasan a ser limpiadas mecánicamente con grata (SSPC-SP3) para luego aplicar la pintura anticorrosiva. Si la tubería es en acero inoxidable, se pasiva con ácido nítrico los puntos donde se aplicó soldadura o pulidora, para evitar la oxidación del material.

Después de estos tratamientos, se despechan los tubos hacia las fabricas de los clientes, generalmente mediante camiones, donde estos son debidamente inmovilizados y protegidos, a fin de prevenir que sufran daños que dificulten su posterior instalación.



## CAPÍTULO 3

# CÁLCULO DE MATERIAL PARA EL PROYECTO ASIGNADO

### 3.1 PROYECTO ASIGNADO

El alcance del proyecto asignado consiste en la fabricación e instalación de tuberías para vapores vegetales usados en los evaporadores y tachos de un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca. El proyecto cuenta con tuberías que serán fabricadas en acero inoxidable AISI 304, cuyos diámetros varían desde 14" hasta 60", y con longitudes que van desde 1 m hasta 54 m. Además, estas tuberías cuentan con una serie de accesorios y aislamientos térmicos, los cuales no serán tenidos en cuenta para el alcance técnico de este trabajo.

A continuación, se muestra la tabla 1 en la cual está registrada la información del proyecto asignado.

CANTIDADES DE OBRA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS EVAPORADORES Y TACHOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
VAPOR I A TACHOS DE REFINO			
1	Tubería de 24" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	54	m
2	Tubería de 18" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	1	m
VAPOR II A TACHOS DE CRUDO			
3	Tubería de 36" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	26	m
4	Tubería de 60" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	3	m
VAPOR III A TACHO CONTINUO			
5	Tubería de 30" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	24	m
VAPOR I A EVAPORADORES 3A-3B-6			
6	Tubería de 30" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	23	m
7	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	36	m
8	Tubería de 14" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	2	m
BLOQUEO VAPOR I Y VAPOR II			
9	Tubería de 36" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	4	m

**Tabla 1.** Proyecto asignado.

Cabe mencionar que antes del proceso de cálculo, se revisan los planos e isometrías de los proyectos, con el fin de determinar las cantidades de obra, incluyendo especificaciones técnicas de materiales, cantidad, unidad y pesos. Para este proyecto, el cliente suministró los planos respectivos a la instalación de tuberías evaporadores y tachos. (ver anexo A).

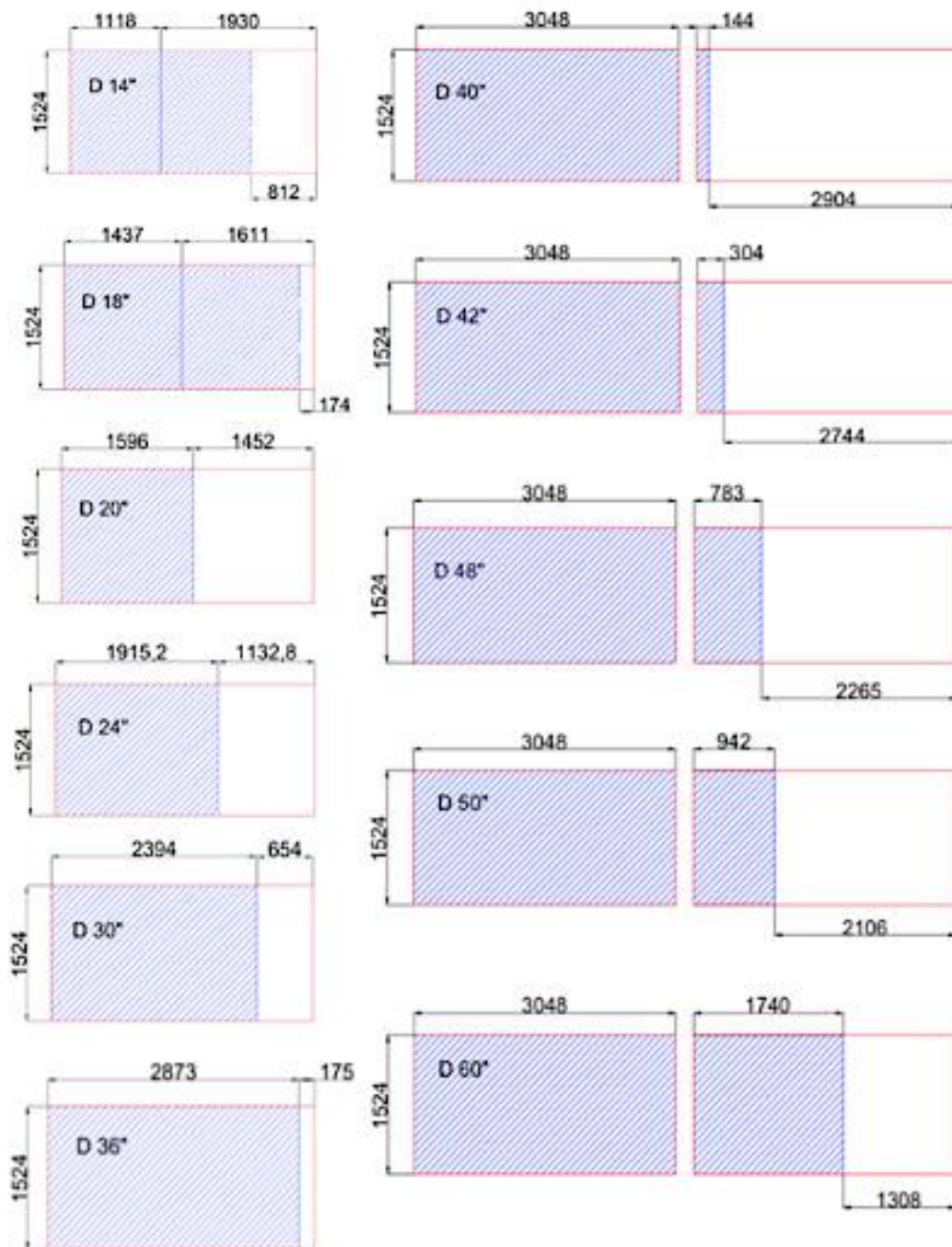
### **3.2 CANTIDAD DE MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DEL PROYECTO ASIGNADO**

Para el proceso de cálculo de material, los Ingenieros de Proyectos de Industrias del Pacifico realizan una serie de iteraciones y cálculos manuales, donde aplican conceptos de troquelado, su experiencia en procesos de corte y aplicación de soldadura sobre láminas de acero. Esta actividad depende de la habilidad, experiencia y destreza que tenga el Ingeniero de Proyectos.

El cálculo de material empieza con el desarrollo de las tuberías. El desarrollo o perímetro de cada tubo, depende directamente del diámetro de la tubería, esto indica, que para tuberías de menor diámetro, el valor del desarrollo será menor en comparación con tuberías de mayor diámetro. Aplicando los conceptos de Ingeniería de detalle, se evidenció que lo más conveniente es trabajar primero con las tuberías de menor diámetro, debido a que éstas dejan sobrantes de láminas considerables porque necesitan menos material para su fabricación.

Con esta experiencia se inició el dimensionamiento de los desarrollos, realizando los diseños de tira. Con la ayuda del software de AutoCAD, se llevan a cabo las comparaciones entre los valores de los respectivos desarrollos con las dimensiones de las láminas de acero inoxidable; esto permite determinar no solamente la cantidad de material que se requiere, sino también identificar los sobrantes de láminas a reutilizar.

A continuación, se muestran los diseños de tiras para tuberías con diámetros entre 14” hasta 60”.



**Figura 10.** Diseños de tira para tuberías con diámetros entre 14" hasta 60" (Dimensiones en mm).

A partir de los resultados de los diseños de tira, ha sido posible identificar que para diámetros entre 14" y 20" se obtienen dos o más cortes de una lámina de dimensiones 5x10 ft; para diámetros de 20" a 36" se obtiene un corte de una lámina de las mismas dimensiones y que

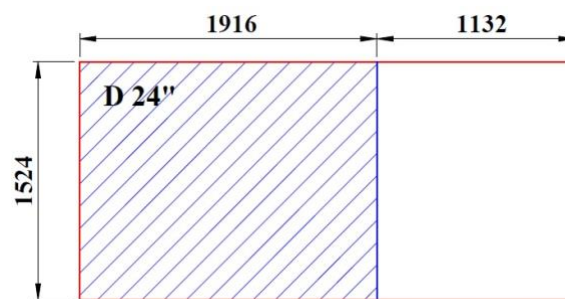
para diámetros mayores a 36", no se generan sobrantes de lámina, por el contrario, se requiere más de una lámina de dimensión 5x10 ft para realizar la fabricación de la tubería. Esto debido a que el desarrollo para esos diámetros supera los 10 ft (3048 mm) de longitud que tienen las láminas. Por ejemplo, para la tubería de 30" se necesitan 2394 mm (perímetro), los cuales se pueden obtener de una lámina (3048 mm) y sobrarían 654 mm, que se deben utilizar para la fabricación de otra tubería. Si se plantea el mismo ejemplo para una tubería de 60", no se obtendrán sobrantes de lámina, ya que su perímetro es de 4788 mm. Por esta razón, se hace necesario tener dos láminas del mismo ancho pero de diferente longitud para su fabricación, una de 3048 mm y otra de 1740 mm de longitud.

Continuando con el procedimiento, se realiza un primer cálculo como evaluación preliminar para determinar la cantidad de láminas que se necesitan en la fabricación de tuberías del mismo diámetro sin tener en cuenta los sobrantes generados. Este primer cálculo, arroja una referencia que se cataloga como el máximo número de láminas a considerar para cumplir con las solicitudes del proyecto. Por ejemplo, para la fabricación de 54 m para la tubería de 24" se tiene:

$$\text{Diametro} = 24"$$

$$\text{Perimetro} = 24" * \frac{25,4 \text{ mm}}{1"} * \pi = 1915,11 \text{ mm} \cong 1916 \text{ mm}$$

$$\text{Sobrante} = 3048 \text{ mm} - 1916 \text{ mm} = 1132 \text{ mm}$$



**Figura 11.** Diseño de tira para tubería de 24" (Dimensiones en mm).

El paso siguiente se ve influenciado por los metros de longitud de tubería estipulados por el cliente. En esta parte, se debe tener en cuenta la capacidad de la máquina roladora que se

encuentra en la empresa, debido a que dicha máquina permite rolar láminas hasta 1800 mm de ancho; las láminas de acero inoxidable AISI 304, que tienen 5 ft (1524 mm) de ancho, cumplen con dicha condición. Por lo tanto, la longitud máxima de cada tramo de tubería a construir en la máquina roladora está determinada por el ancho comercial de la lámina (5 ft o 1524 mm).

Mediante la anterior configuración se tiene que:

$$1 \text{ Lámina} \rightarrow 1 \text{ Tramo de } 1,524 \text{ m}$$

$$\text{Longitud Parcial} = 1,524 \text{ m}$$

La cantidad de láminas esta definida por:

$$\text{Tramos de Tubería} = \frac{\text{Longitud Tubería}}{\text{Longitud Parcial}} = \frac{54 \text{ m}}{1,524 \text{ m}} = 36$$

$$\text{Cantidad Láminas} = \text{Tramos de Tubería} \times L$$

Donde L es el número de láminas consideradas en la configuración. En este caso L=1, por lo tanto se tiene que:

$$\text{Cantidad Láminas} = 36 \times 1 = 36 \text{ Láminas}$$

El resultado obtenido muestra que se necesitan 36 láminas 5x10 ft para fabricar 54 m de tubería de 24", y sobran 36 tramos de 1132 mm x 1524 mm.

En la mayoría de ocasiones, este primer valor obtenido suele estar muy alejado de la realidad, razón por la cual, se plantea un segundo cálculo para reducirlo. El segundo cálculo, que se basa en la configuración inicial de los sobrantes de lámina, permite establecer las posibles combinaciones para fabricar tubería del mismo diámetro, sin incluir los sobrantes de otros desarrollos. De esta manera, si de la tubería de 24" están sobrando 1132 mm por lámina, lo que se pretende es reutilizar esa longitud para la fabricación de una nueva tubería de 24".

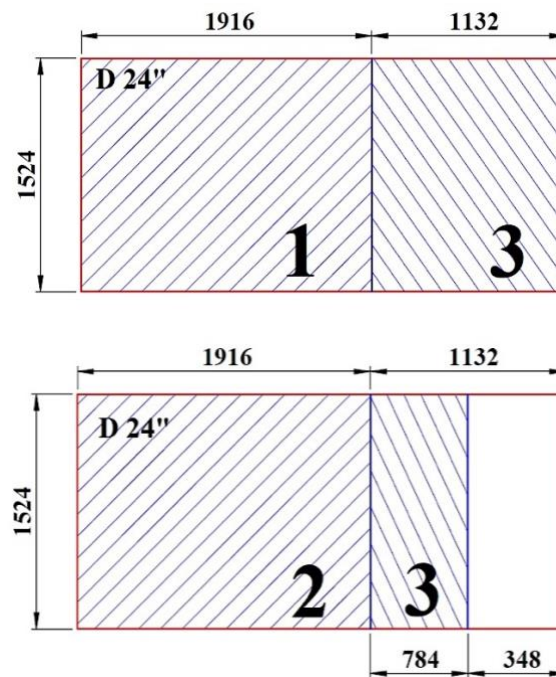
Es importante mencionar que los sobrantes de las láminas se pueden reutilizar, siempre y cuando tengan una longitud superior a 150 mm, y que las tuberías serán fabricadas con dos uniones o sobrantes como máximo; esto en base al cumplimiento de las normas internacionales. Por esta razón, se debe verificar que se cumpla la siguiente condición:

$$\frac{\text{Perimetro}}{\text{Sobrante}} = \frac{1916 \text{ mm}}{1132 \text{ mm}} = 1,6 < 2 \quad \text{Se cumple la condición}$$

Entonces,

$$\text{Perimetro} - \text{Sobrante} = 1916 \text{ mm} - 1132 \text{ mm} = 784 \text{ mm}$$

Esto significa que es posible fabricar otra tubería de 1916 mm de perímetro, a partir de dos sobrantes de 1132 mm de longitud, de los cuales se obtendrá un nuevo retal de 348 mm, tal como se muestra en la figura 12.



**Figura 12.** Nueva configuración para tubería de 24" (Dimensiones en mm).

Mediante esta nueva configuración es posible concluir que por cada dos láminas 5x10 ft, se obtendrán tres tramos de tubería de 24".

$$2 \text{ Láminas} \rightarrow 3 \text{ Tramos de } 1,524 \text{ m}$$

$$\text{Longitud Parcial} = 3 * 1,524 \text{ m}$$

La cantidad de láminas está definida por:

$$\text{Tramos de Tubería} = \frac{\text{Longitud Tubería}}{\text{Longitud Parcial}} = \frac{54 \text{ m}}{3 * 1,524 \text{ m}} = 12$$

$$\text{Cantidad Láminas} = \text{Tramos de Tubería} \times L$$

Para este caso,  $L=2$  ya que se estableció una nueva configuración con 2 láminas. Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Cantidad Láminas} = 12 \times 2 = 24 \text{ Láminas}$$

El resultado obtenido mediante el segundo cálculo muestra que se necesitan 24 láminas de 5x10 ft para fabricar 54 m de tubería de 24" y sobran 12 tramos de 348 mm x 1524 mm. Como se puede observar, el segundo cálculo redujo tanto el numero de láminas como la cantidad de sobrantes disponibles.

De igual forma, se aplicó este mismo procedimiento para configurar y optimizar los sobrantes de lámina de las otras tuberías del proyecto. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

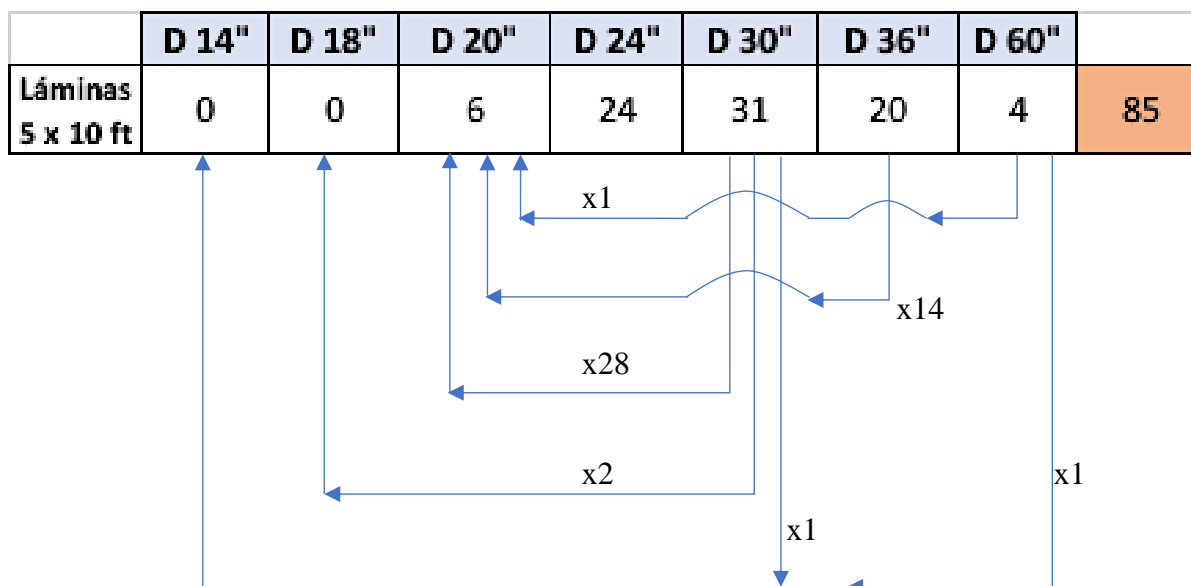
	D 14"	D 18"	D 20"	D 24"	D 30"	D 36"	D 60"	
Láminas 5 x 10 ft	1	1	12	24	31	20	4	93
	Sobran	Sobran	Faltan	Sobran	Sobran	Sobran	Sobran	
	1 de (476x812)	1 de (524x1437)	12 de (150x1524)	12 de (348x1524)	31 de (654x1524)	20 de (175x1524)	2 de (1308x1524)	

**Figura 13.** Esquema de los resultados obtenidos en el segundo cálculo. (Dimensiones de sobrantes en mm).

Por último, se realiza un tercer cálculo, en el cual se busca optimizar aún más, combinando los sobrantes que en la configuración anterior no sirvieron para fabricar una nueva tubería del mismo diámetro. Para este proyecto, se identificó que los sobrantes de mayor tamaño corresponden a las tuberías de diámetro 60", 36" y 30". A partir de ahí, y mediante el siguiente cálculo, ha sido posible obtener el material para fabricar nuevas tuberías de diámetro 14", 18" y 20".

Por ejemplo, para la fabricación de los 2 m de tubería de 14" se puede utilizar un sobrante de la tubería de 60" (1308 mm x 1524 mm) y adicionarle uno de la tubería de 30" (654 mm x 1524 mm). De igual forma, la tubería de 18" puede ser fabricada a partir de dos sobrantes de la tubería de 30". Y para la tubería de 20" se pueden utilizar los sobrantes que quedan de la tubería de 30", 36" y 60".

En la figura 14 se muestra la configuración de los sobrantes empleada para fabricar nuevas tuberías de 14", 18" y 20".



**Figura 14.** Esquema configuración de sobrantes de la última optimización.

En algunos casos, quedan muchos sobrantes de dimensiones considerables que no alcanzan a ser reutilizados; para este proyecto en particular, no se reutilizaron los sobrantes de la tubería de 24" y quedaron 6 sobrantes de la tubería de 36". Sin embargo, los valores obtenidos corroboran la información mencionada anteriormente, debido a que en esta última optimización, se obtuvo una disminución de 8 láminas.

Gracias a esta ultima optimización, se concluye que para la fabricación de tuberías de evaporados y tachos del Ingenio azucarero, se necesitan 85 láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones comerciales 5x10 ft.



Los valores obtenidos durante el proceso de cálculo mencionado anteriormente, quedaron registrados en la tabla 2.

<b>CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft TUBERÍAS EVAPORADORES Y TACHOS</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>EVALUACION PRELIMINAR</b>	<b>OPTIMIZACIÓN INICIAL</b>	<b>OPTIMIZACIÓN FINAL</b>
1	Tubería de 14" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	2	1	1	0
2	Tubería de 18" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	1	1	1	0
3	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	36	24	12	6
4	Tubería de 24" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	54	36	24	24
5	Tubería de 30" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	47	31	31	31
6	Tubería de 36" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	30	20	20	20
7	Tubería de 60" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	3	4	4	4
<b>TOTAL LÁMINAS 5x10 ft</b>			<b>117</b>	<b>93</b>	<b>85</b>

**Tabla 2.** Cantidad de láminas requeridas para el proyecto asignado.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL**

En general, los procesos de diseño y desarrollo de Ingeniería de detalle para determinar la cantidad de material de este proyecto, requieren de tiempo y concentración, tal como se evidenció en el Capítulo anterior. Además, requieren de conceptos de troquelado, experiencia en procesos de corte con plasma y aplicación de soldaduras, aplicación de normas ASME, y uso de herramientas computacionales como AutoCAD. Por esta razón, surge la necesidad de implementar un programa que le permita al área técnica de la empresa, minimizar los cálculos manuales y disminuir las iteraciones y demás factores que generen demoras durante el proceso.

Para el desarrollo del programa se han tenido en cuenta dos grandes algoritmos: uno para desarrollar la interfaz gráfica y otro para llevar a cabo los cálculos y resultados. De los algoritmos se hablará detalladamente más adelante. Sin embargo, vale la pena mencionar que la parte más importante del programa y del proceso de cálculo de material en general, se basa en la optimización de los sobrantes de láminas, ya que mediante una correcta configuración es posible disminuir compras innecesarias de materiales y la generación de inventarios.

Al ser la optimización, la parte más importante, se convierte también en la parte más demorada del proceso, razón por la cual, se plantea el programa con un enfoque de estandarización.

El desarrollo de un programa computacional también depende del tipo de lenguaje a utilizar. En este proyecto, se seleccionó el lenguaje de programación de C#, debido a la gran facilidad que presenta para ejecutar los comandos e incluir recursos gráficos, y también porque es compatible con el software de los computadores de la empresa.

## **4.2 VENTAJAS DE IMPLEMENTAR EL PROGRAMA COMPUTACIONAL**

El desarrollo del programa será planteado con un enfoque de estandarización y cumplimiento de normas internacionales para la construcción de tuberías de acero de grandes diámetros, lo cual, permitirá no solamente reducir tiempos de cálculo sino también aumentar la eficiencia de la empresa, además facilitará a los ingenieros del área técnica dar una respuesta oportuna y confiable, y dedicarse a optimizar otras actividades de la planeación como nivelación de tiempos y recurso humano.

Adicionalmente, el programa ofrece otra ventaja, que se basa en calcular el peso en kilogramos de la tubería a instalar, con lo cual la empresa realiza las consideraciones para la presentación del valor de la oferta. Esto también implica que, a nivel económico el desarrollo de la iniciativa le dará a la compañía, el beneficio de ser más competitiva, tener más probabilidades de éxito en la adjudicación de este tipo de proyectos por parte del cliente, garantizar las metas de ventas anuales y la sostenibilidad de la empresa.

## **4.3 CONFIGURACIÓN EN EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C#**

Para darle solución a un problema se requiere identificar no solamente su causa principal, sino también la metodología o proceso donde se encuentra la falla. Esto permitió, para este trabajo, tener los fundamentos necesarios para seleccionar las variables, realizar las configuraciones y posibles algoritmos que arrojen las pertinentes soluciones. De esta manera, para el correcto desarrollo de este programa computacional, se tuvieron en cuenta las variables que influyen directa e indirectamente sobre el proceso. Como entradas se identificaron:

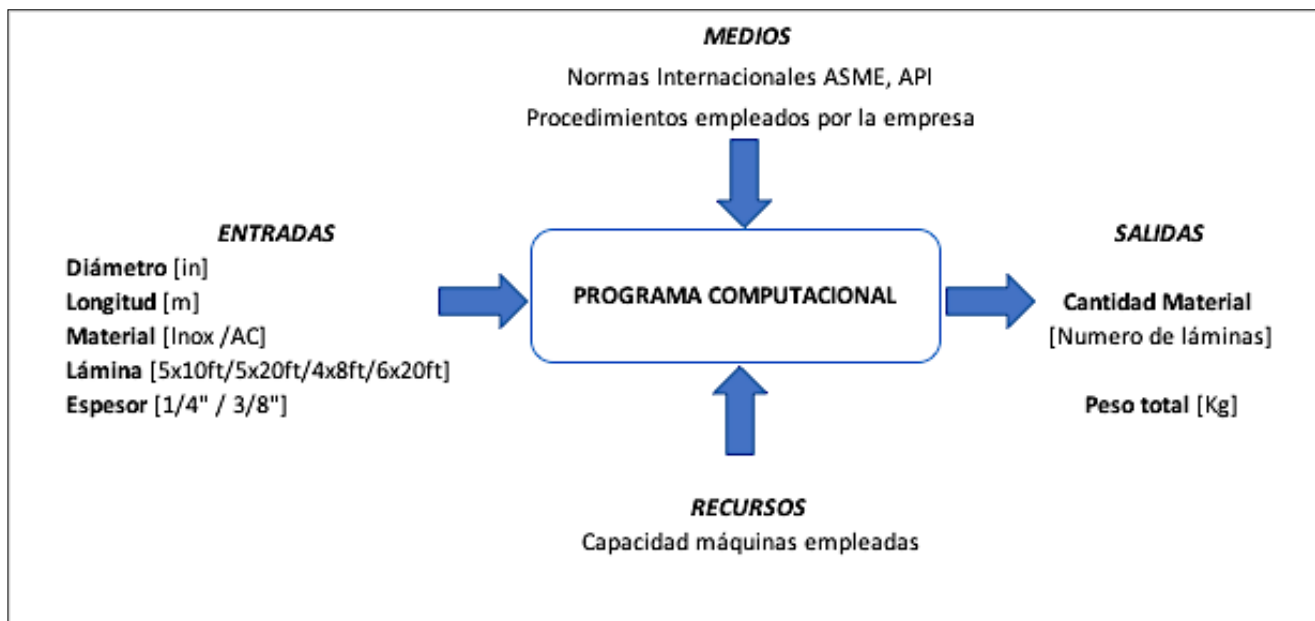
- Datos: diámetro, longitud, y especificaciones del material en el cual se va a construir la tubería.
- Medios: procedimientos empleados por la empresa, tolerancias para aplicación de soldadura en unión de tuberías, estándares de construcción para tuberías de grandes diámetros de acuerdo a norma ASME, API.

- Recursos: capacidad de la máquina roladora, espesor de la boquilla para el corte de la lámina con plasma.

Como salidas:

- Datos: resultados del cálculo expresados en número de láminas, y el peso total de dichas láminas.

Es importante enfatizar en estas variables para obtener resultados positivos en el desarrollo de los algoritmos. A continuación, se muestra un diagrama de las variables a tener en cuenta para el programa computacional.



**Figura 15.** Datos de entrada y salida considerados para el programa computacional.

Al desarrollar el algoritmo, se evidencia la necesidad de plantear varios métodos de posibles soluciones, para que después, mediante un análisis mucho más profundo, se pueda determinar cuales son los puntos a favor y en contra de cada método, y de esta manera, lograr unificarlos para obtener uno mucho más completo.

Como se mencionó anteriormente, para la elaboración del programa se han tenido en cuenta dos grandes algoritmos: uno para desarrollar la interfaz gráfica, es decir, los comandos,

botones, guías, tablas y demás, y otro para llevar a cabo los cálculos y resultados. Este último, es el algoritmo principal del programa y se encuentra configurado con dos tipos de variables: las variables que establece el usuario mediante una selección de opciones, y las variables propias de la estructura del programa.

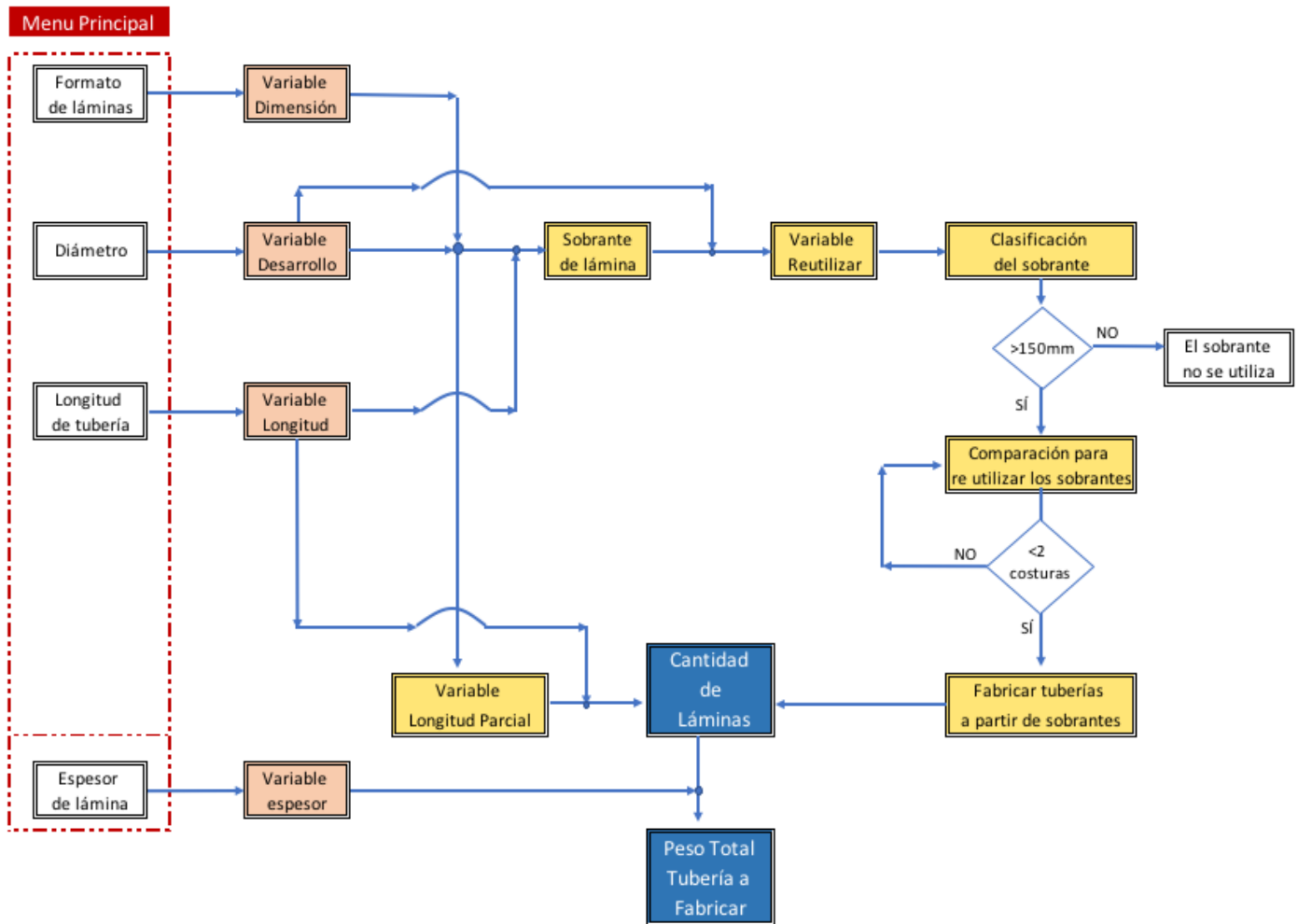
Dentro de las variables que establece el usuario están:

- Variable de Desarrollo, que es la multiplicación del Diámetro [mm] por el número PI.
- Variable de Dimensión de Lámina, son las medidas estándares comerciales de cada lámina dependiendo del tipo de material a utilizar en el proyecto.
- Variable Longitud Tubería, referencia la longitud de la tubería en metros suministrada por el cliente.
- Variable de Espesor, referencia el espesor seleccionado por parte del usuario para realizar el cálculo de peso en kilogramos de las tuberías.

Por otro lado, dentro de la estructura del programa se tiene:

- Variable Longitud Parcial, referencia los tramos de longitud de tubería en metros que se obtienen después de la configuración de cada uno de los desarrollos de láminas.
- Variable de Reutilizar, la cual es la razón entre Desarrollo y Sobrante de Lámina.

Estas variables se establecieron de acuerdo al proceso de cálculo realizado en el Capítulo anterior y teniendo en cuenta las normas constructivas de diseño. La figura 16 muestra la interacción de las variables.



**Figura 16.** Diagrama de flujo del algoritmo del programa.

Para efectuar los cálculos, el programa cuenta con una serie de operaciones lógicas, que están enlazadas con las variables que establece el usuario, y las variables propias de la estructura del programa. Dentro de las operaciones lógicas, se encuentra el “Sí condicional” y los ciclos “While” y “Do While”, que permiten iterar hasta obtener un resultado más cercano a la realidad. Tal como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 16, después de clasificar los sobrantes en varios casos (en programación se conoce como Case), se establece la condición: Sí los sobrantes superan una longitud de 150 mm serán tenidos en cuenta y pasarán a ser comparados para su posterior re utilización, de lo contrario, estos no serán considerados. Después, la comparación se basa en fabricar tuberías a partir de dos sobrantes, en caso que las combinaciones planteadas no cumplan con esta condición, se busca una nueva configuración de estos.

Una vez realizado el algoritmo principal, se diseñaron los bosquejos de la interfaz gráfico del programa. El diseño de la interfaz comprende el desarrollo de toda la parte gráfica, donde están incluidos los títulos, cuadros de textos, botones, opciones de selección, ventanas, entre otros comandos. En esta parte, se tuvieron en cuenta conceptos de programación y de diseño, tales como la usabilidad. Entender lo que significa este concepto hará del diseño una verdadera experiencia, ya que facilitará el cumplimiento de las tareas estipuladas en el alcance del programa de una manera cómoda, rápida y eficaz. Tal como menciona Cooper, se debe comprender qué tan fácil de usar es el programa que se va a diseñar, teniendo en cuenta varios parámetros como la organización, la eficiencia y lo intuitivo que es el programa para llegar a completar una tarea dentro de todo el sistema, “así es como nos aseguramos de que todos los aspectos del producto que estamos diseñando tienen un propósito claro que se puede remontar de nuevo a un escenario de uso u objetivo de negocio.” (Cooper, 2014, pág. 122).

A partir de dichos conceptos, se proyectaron distintas ideas para el desarrollo de la interfaz. Al final, se logró unificar las ideas y obtener un diseño muy dinámico, el cual se divide de la siguiente manera:

- **Interfaz de entrada:** incluye el menú principal, el cual es muy interactivo y es el que permite trabajar el programa de manera organizada. En esta parte, el usuario puede establecer las variables de entrada como diámetros, longitud de tubería, tipo de material y las dimensiones de lámina a utilizar. Como se había mencionado anteriormente, los diámetros incluidos en el programa van desde 14” hasta 60”. Se planteó la necesidad de implementar una selección de diámetros de manera individual pero también de manera colectiva, con la posibilidad de trabajar con todos los diámetros incluidos. Al seleccionar cada diámetro, se activa un cuadro de texto, el cual le permite al usuario ingresar la longitud de la tubería en metros. Cabe mencionar que estas dos opciones se encuentran enlazadas, es decir, el programa no correrá si hace falta completar una de estas.
- Por otro lado, en la parte inferior de la ventana, se encuentran las opciones para elegir las dimensiones de las láminas con las que se desea trabajar. Estas dimensiones dependen del tipo de material a utilizar, ya que es de esta manera como funciona en el mercado local. Las dimensiones que han sido incluidas son: 5x10 ft y 5x20 ft para láminas de acero

inoxidable; y 4x8 ft y 6x20 ft para láminas de acero al carbón. Es necesario aclarar que dichas opciones están referenciadas mediante una selección individual, es decir, solo se puede trabajar con una dimensión de lámina en específico.

Después de que el usuario ingrese la información, el programa le asigna a las variables su respectivo valor para continuar con el proceso de cálculo. Es justo en esta parte donde se vincula el algoritmo de cálculo referenciado anteriormente.

- **Interfaz de respuesta:** incluye una nueva ventana en la cual se le informa al usuario el valor obtenido. El resultado del cálculo, que no es más que la cantidad de material a utilizar, se expresa en número de láminas del formato seleccionado.

Además, se muestran dos botones, uno que permiten regresar al menú principal, y otro que le permite al usuario conocer el peso total en kilogramos a fabricar. Esta última opción ha sido añadida al programa durante el desarrollo del mismo. Esto debido a que generalmente, los ingenieros de la empresa, toman los resultados del cálculo y cotizan en el mercado local, para luego cumplir con un presupuesto y poder darle una respuesta confiable a los clientes. De esta manera, al agregar esta opción en el programa, se podrían agilizar aún más los procesos del área comercial frente al desarrollo de presupuestos.

Por su parte, al seleccionar esta nueva opción, aparece una ventana emergente en la cual se establecen los espesores de las láminas. El usuario deberá seleccionar uno de los dos espesores de lámina, ya sea de  $\frac{1}{4}$ " ó  $\frac{3}{8}$ ". La razón de incluir solamente estos dos espesores, se basa en que son los más utilizados en la industria local para la fabricación de tuberías con costura. Una vez seleccionada una de las dos opciones y teniendo toda la información anteriormente suministrada, el programa realiza un nuevo cálculo para determinar el peso total en kilogramos.

Para finalizar, el programa arroja el valor calculado y luego se re direcciona al menú principal, para empezar con un nuevo cálculo si es necesario.



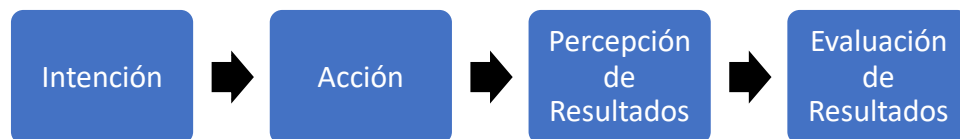
## CAPÍTULO 5

# IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

### 5.1 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL PROYECTO ASIGNADO

La implementación del programa es la etapa decisiva en la cual se define si el funcionamiento corresponde con lo esperado. Es en esta parte donde se confirma y se valida que los algoritmos y las configuraciones del diseño incluyendo la interfaz gráfica, quedaron correctamente definidos.

Durante la implementación se llevo a cabo la metodología planteada por D. A. Norman en 1986, la cual se basa en la interacción del usuario con el programa, para observar su comportamiento, mostrar y corregir los primeros errores, y mejorar aspectos de usabilidad. D. A. Norman describió las etapas en que se divide el proceso de interacción:



De esta manera, primero se establece la intención de alcanzar un objetivo. Esta intención se convierte en una acción a medida que se ejecute efectivamente, ya sea presionando una tecla o seleccionando alguna opción de la interfaz. A partir de esa acción, se perciben una serie de cambios o respuestas por parte del programa, los cuales pasan a ser evaluados para verificar si estas son favorables para la consecución del objetivo propuesto.

Gracias a esta metodología fue posible realizar una serie de ajustes basados en los resultados de las pruebas y también en solicitudes de la empresa, como la opción de calcular el peso de las tuberías.

Una vez realizado los últimos ajustes, la interfaz gráfica del programa quedó establecida de la siguiente manera:

- Icono y nombre:

### Piping Design Mz97



**Figura 17.** Icono del programa computacional Piping Design Mz97.

- Menú principal y ventana emergente de opción peso total a instalar:

×

CALCULO DE MATERIAL PARA TUBERIAS CON COSTURA

<input type="checkbox"/> Diámetro 14"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 36"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 16"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 40"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 18"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 42"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 20"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 48"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 22"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 50"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 24"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>	<input type="checkbox"/> Diámetro 60"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>
<input type="checkbox"/> Diámetro 30"	<u>Longitud de Tubería [m] (*)</u>		

**NOTA:** Al ingresar la longitud de la tubería, por favor utilizar la Coma(,) como separador de decimales: 21,5

**Acero Inoxidable**

**Acero al Carbón**

☐ 5 X 10 ft
 ☐ 5 X 20 ft
 ☐ 4 X 8 ft
 ☐ 6 X 20 ft

Realizar Cálculo

**Figura 18.** Foto tomada al menú principal del programa.

PESO TOTAL A INSTALAR

☒ Espesor 1/4"
 ☐ Espesor 3/8"

Realizar Cálculo

**Figura 19.** Foto tomada a la opción peso total a instalar.

- Interfaz de respuesta:

#### RESULTADOS DEL CALCULO

Se requieren 3 lámina(s) en formato 5 x 10 ft  
para fabricar la(s) tubería(s) seleccionada(s)

Kg a Montar

Regresar

**Figura 20.** Foto tomada a la interfaz de respuesta (resultados cantidad de láminas).

#### RESULTADOS DEL CALCULO

El peso total a instalar es de: 697 Kg

Regresar

**Figura 21.** Foto tomada a la interfaz de respuesta (resultados peso total a instalar).

Por último, se implementó el programa para calcular la cantidad de material requerido en el proyecto asignado por la empresa, y el valor obtenido fue de 83 láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones comerciales 5x10 ft, tal como se muestra en la figura 22.

× CALCULO DE MATERIAL PARA TUBERIAS CON COSTURA

Diámetro	Longitud de Tubería [m] (*)	Diámetro	Longitud de Tubería [m] (*)
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 14"	2	<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 36"	30
<input type="checkbox"/> Diámetro 16"		<input type="checkbox"/> Diámetro 40"	
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 18"	1		
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 20"	36		
<input type="checkbox"/> Diámetro 22"			
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 24"	54		
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 30"	47		

Acero Inoxidable      Acero al Carbón

☒ 5 X 10 ft    ☐ 5 X 20 ft    ☐ 4 X 8 ft    ☐ 6 X 20 ft

Realizar Cálculo

**RESULTADOS DEL CALCULO**

Se requieren 83 lámina(s) en formato 5 x 10 ft  
para fabricar la(s) tubería(s) seleccionada(s)

Kg a Montar    Regresar

**NOTA:** Al ingresar la longitud de la tubería, por favor utilizar la Coma(,) como separador de decimales: 21,5

**Figura 22.** Foto tomada durante la implementación del programa computacional.

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La fabricación de las tuberías para este proyecto se realizó entre el mes de julio y de agosto. Esto permitió comparar los resultados del programa con resultados reales del proyecto. Primero se comparó de manera individual los resultados para cada una de las tuberías, tal como se muestra en la tabla 3.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA INDIVIDUAL)				
ITEM	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	METODOLOGÍA	
			MANUAL*	PROGRAMA
1	Tubería de 14" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	2	1	1
2	Tubería de 18" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	1	1	1
3	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	36	12	13
4	Tubería de 24" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	54	24	23
5	Tubería de 30" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	47	31	25
6	Tubería de 36" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	30	20	19
7	Tubería de 60" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	3	4	4
TOTAL LÁMINAS 5 x 10 ft			93	86

**Tabla 3.** Comparación de resultados en forma individual.

\*Manual: se tomaron los valores obtenidos en la optimización inicial de la tabla 2, debido a que estos valores corresponden a la configuración individual de los sobrantes de láminas.

Se evidencia que para diámetros pequeños, entre 14” y 18” los valores obtenidos fueron exactamente iguales. Para el diámetro de 20”, el programa arrojó un valor de 13 láminas requeridas, mientras que el valor obtenido de manera manual fue de 12, por lo tanto existe una diferencia de una lámina. Para la tubería de 24” el programa arroja un número de láminas menor al obtenido de manera manual, y la diferencia entre las dos metodologías es de una

lámina. La tubería de 30” requiere de 31 láminas para su fabricación según la metodología manual; sin embargo, el programa arroja un valor de 25 láminas. Para la tubería de 36” se obtuvo también una diferencia entre las dos metodologías, de una lámina, en la cual es el programa quien arroja el menor número. Por último, para la tubería de 60” se requieren 4 láminas, siendo el mismo valor obtenido por ambas metodologías.

Estos resultados permiten analizar que al seleccionar las tuberías de manera individual mediante el programa, los valores que se obtienen presentan una diferencia de una lámina y en ocasiones coinciden con el valor del cálculo manual. Para la tubería de 30” se presenta una diferencia de 6 láminas. Esto se debe a que al momento de desarrollar el algoritmo del programa, este se basó en selecciones colectivas, ya que en el proyecto asignado se involucran siete tuberías de distinto diámetro, lo que conlleva una configuración del algoritmo de tal manera que los sobrantes de las tuberías de gran diámetro se utilicen para completar el material de fabricación de tuberías de diámetro menor. Por esta razón, ante la selección individual de la tubería de 30”, el programa está configurando 1,524 m más de tubería a partir de aproximadamente cuatro sobrantes de 654 mm. Por la metodología manual, el Ingeniero toma la decisión de formar tubería a partir de dos costuras, en vez de cuatro, razón por la cual, se obtiene una amplia diferencia cuando se trabaja de manera individual la tubería de 30”.

Por otro lado, los resultados obtenidos por las dos metodologías mediante una selección colectiva se muestra en la tabla 4.

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)</b>		
	<b>Manual</b>	<b>Programa Computacional</b>
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	85	83

**Tabla 4.** Comparación de resultados en forma colectiva.

Mediante el programa, se obtiene un valor de 83 láminas, mientras que el cálculo manual arrojó un valor de 85 láminas. La diferencia radica en 2 láminas, que en términos porcentuales es de:

$$\%Error = \frac{85 - 83}{85} * 100$$

$$\%Error = 2,35\%$$

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el desarrollo previo del proyecto permitió verificar en campo la cantidad exacta utilizada para la construcción de los tubos. En este proceso se encontraron retales mayores a 350 mm que no fueron bien distribuidos, y que al sumarlos dan aproximadamente lámina y media de dimensiones 5x10 ft. El costo de dos láminas de acero inoxidable de 6 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft, es aproximadamente 5 millones de pesos; este valor es parte del beneficio del programa implementado, que le permite a la empresa ser más competitiva en el momento de presentar una licitación. Por ello, es posible afirmar que el resultado obtenido mediante el programa está muy cercano al resultado real para el proyecto en cuestión.

También se realizó una comparación de los tiempos empleados, a partir de la información suministrada en la tabla 5.

COMPARACIÓN DE TIEMPOS		
	Manual	Programa Computacional
Tiempo empleado durante el proceso de cálculo	180 minutos	1 minuto

**Tabla 5.** Comparación de tiempos empleados.

Como el proyecto estaba en fase de construcción, se estimó con el Ingeniero de Proyectos de la empresa, una duración del proceso de cálculo de aproximadamente 3 horas para configurar los diseños de tira y determinar las cantidades de láminas. Cabe mencionar que este tiempo

estimado inicia con la tabla resumen de las cantidades de obra del proyecto. Por otro lado, el programa realiza el mismo proceso en aproximadamente 1 minuto.

De esta manera, se verifica que existe una disminución notable de tiempo para el proceso de cálculo, lo que le permite al ingeniero realizar otras consideraciones como manejo de recurso humano y de equipos, teniendo así una mejor planeación.

Después de comparar los resultados del proyecto asignado, se realizaron más pruebas al programa con otros proyectos de fabricación de tuberías. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- **Prueba 2**

<b>CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft (Proyecto prueba 2)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>OPTIMIZACIÓN FINAL</b>
1	Tubería de 16" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	25	8
2	Tubería de 18" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	8	3
<b>TOTAL LÁMINAS 5x10 ft</b>			<b>11</b>

**Tabla 6.** Requerimientos del proyecto Prueba 2.

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)</b>		
	<b>Manual</b>	<b>Programa Computacional</b>
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	11	10

**Tabla 7.** Comparación de resultados Prueba 2.

Los resultados obtenidos por ambas metodologías muestran una diferencia de una lámina. De manera manual, se obtuvo un valor de 11 láminas, mientras que el programa arrojó un

valor de 10 láminas 5x10 ft para fabricar 25 m de tubería de 16" y 8 m de tubería de 18". En este caso, la diferencia en términos porcentuales es de:

$$\%Error = \frac{11 - 10}{11} * 100$$

$$\%Error = 9,09\%$$

- **Prueba 3**

<b>CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft (Proyecto prueba 3)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>OPTIMIZACIÓN FINAL</b>
1	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	30	10
2	Tubería de 16" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	21,5	7
3	Tubería de 14" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	15,5	4
<b>TOTAL LÁMINAS 5x10 ft</b>			<b>21</b>

**Tabla 8.** Requerimientos del Proyecto Prueba 3.

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)</b>		
	<b>Manual</b>	<b>Programa Computacional</b>
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	21	21

**Tabla 9.** Comparación de resultados Prueba 3.

Los resultados obtenidos por ambas metodologías arrojan el mismo valor. De manera manual, se obtuvo un valor de 21 láminas 5x10 ft para cumplir con las requerimientos estipulados en la tabla 8. Por lo tanto en este caso, el error en términos porcentuales es de 0%.



Los resultados también permitieron verificar el funcionamiento del programa ante el ingreso de números decimales para la longitud de tubería, con lo cual, es posible afirmar que las variables están trabajando correctamente con la información ingresada tanto para números enteros como decimales.

- **Prueba 4**

<b>CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft (Proyecto prueba 4)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>OPTIMIZACIÓN FINAL</b>
1	Tubería de 22" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	25	10
2	Tubería de 42" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	35	26
<b>TOTAL LÁMINAS 5x10 ft</b>			<b>36</b>

**Tabla 10.** Requerimientos del Proyecto Prueba 4.

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)</b>		
	<b>Manual</b>	<b>Programa Computacional</b>
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 9 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	36	36

**Tabla 11.** Comparación de resultados Prueba 4.

Para esta prueba se obtuvo el mismo resultado por ambas metodologías, el cual corresponde a 36 láminas 5x10 ft para la fabricación de 25 m de tubería de 22” y 35 m de tubería de 42”. Por lo tanto, para esta prueba el error en términos porcentuales es de 0%.

- Prueba 5

CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft (Proyecto prueba 5)			
ITEM	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	OPTIMIZACIÓN FINAL
1	Tubería de 14" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	12,5	3
2	Tubería de 18" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	24	8
3	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	14,6	5
4	Tubería de 24" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	27	12
5	Tubería de 36" fabricada en INOX 304 de 9 mm de espesor	39	25
<b>TOTAL LÁMINAS 5x10 ft</b>			<b>53</b>

**Tabla 12.** Requerimientos del Proyecto Prueba 5.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)		
	Manual	Programa Computacional
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 9 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	53	52

**Tabla 13.** Comparación de resultados Prueba 5.

Los resultados obtenidos presentan una diferencia de una lámina. De manera manual, se obtuvo un valor de 53 láminas 5x10 ft, mientras que el programa arrojó un valor de 52 láminas. El error porcentual es de:

$$\%Error = \frac{53 - 52}{53} * 100$$

$$\%Error = 1,9\%$$

- Prueba 6

CANTIDAD DE LÁMINAS 5x10 ft (Proyecto prueba 6)			
ITEM	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	OPTIMIZACIÓN FINAL
1	Tubería de 20" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	25	9
2	Tubería de 22" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	14	6
3	Tubería de 24" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	16	3
4	Tubería de 42" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	8	8
5	Tubería de 50" fabricada en INOX 304 de 6 mm de espesor	6	8
TOTAL LÁMINAS 5x10 ft			34

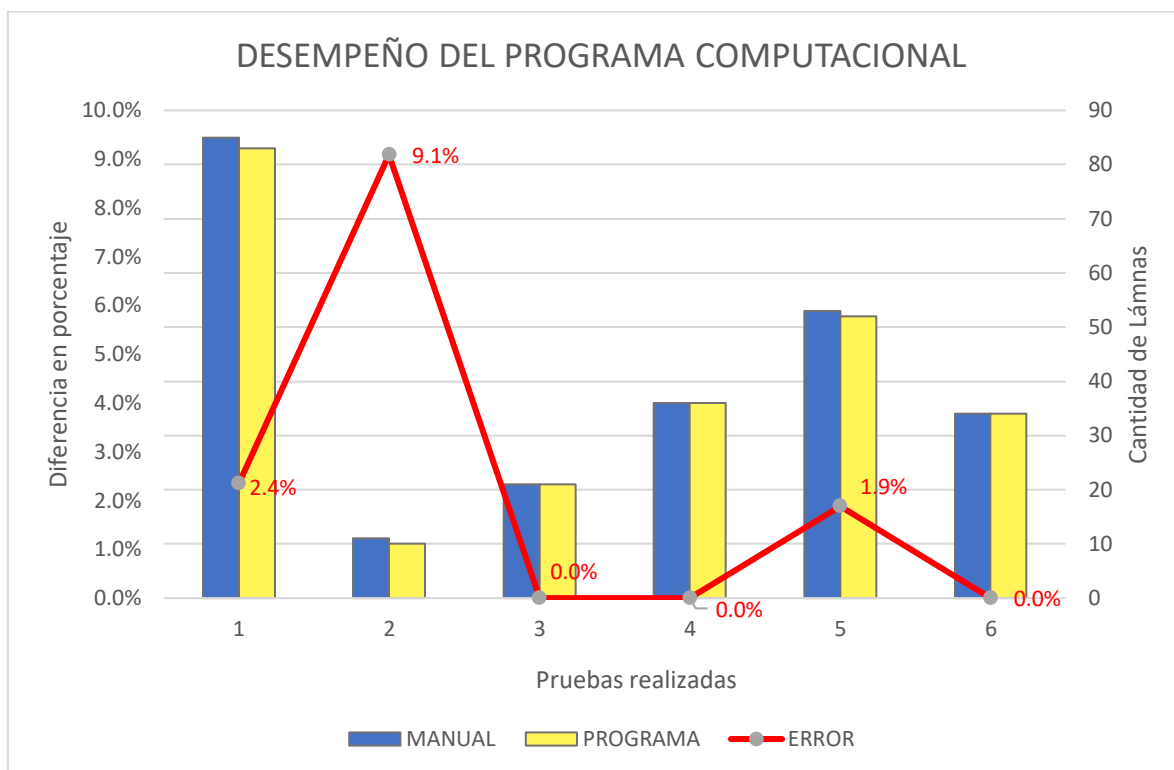
**Tabla 14.** Requerimientos del Proyecto Prueba 6.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (EN FORMA COLECTIVA)		
	Manual	Programa Computacional
Número de láminas de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor en dimensiones 5x10 ft	34	34

**Tabla 15.** Comparación de resultados Prueba 6.

Para la última prueba se obtuvo un error porcentual del 0% ya que el resultado por ambas metodologías, corresponde a 34 láminas 5x10 ft.

Los resultados de las pruebas realizadas permitieron analizar el comportamiento del programa computacional.



**Figura 23.** Gráfico del desempeño del programa computacional.

Para las pruebas 3, 4 y 6, los valores obtenidos por ambas metodologías fueron los mismos. Sin embargo, para las pruebas 1, 2 y 5 los valores obtenidos fueron diferentes. Estas diferencias se pueden ver influenciadas por el proceso de optimización empleado en el cálculo manual, específicamente, por las combinaciones de sobrantes y la opinión subjetiva o criterio que tiene el ingeniero a cargo para definir a partir de cuantas costuras, se fabricarán nuevas tuberías. Esto debido a:

1. Sí las combinaciones de sobrantes no fueron óptimas, entonces, después del proceso de fabricación quedarán retales sin utilizar, tal como se evidenció y se mencionó anteriormente con el proyecto asignado.
2. El programa establece la fabricación de nuevas tuberías a partir de dos sobrantes. Razón por la cual, en caso de que el ingeniero a cargo decida fabricar las tuberías con

un número de costuras distintas al estipulado por el programa, los cálculos de una metodología respecto a otra, presentarán diferencias.

Para la prueba 5 los resultados muestran una diferencia de 1 lámina, que en términos de error porcentual es del 1,9%. Mientras que los resultados de la prueba 2 presentan la misma diferencia que en la prueba 5 (1 lámina), el error porcentual aumentó al 9,1%, siendo el mayor valor obtenido. A partir de lo anterior, es posible analizar que el aumento del error porcentual se debe a la cantidad de láminas que se manejen en el proyecto en cuestión. Para proyectos que cuentan con menor cantidad de tubería a fabricar, los errores porcentuales serán mayores aún sabiendo que la diferencia entre ambas metodologías es de 1 lámina.

Cabe mencionar que para proyectos con poca cantidad de tubería, como el de la prueba 2, las combinaciones de sobrantes de lámina se realizan sin tener muchas opciones para re utilizar, lo que conlleva a que los sobrantes no se aprovechen al máximo. Por lo tanto, resulta más costoso para la empresa su ejecución, es decir, construir por ejemplo 8 m de tubería es más costoso en valores unitarios que construir 40 m de la misma tubería. Esta es una situación que ocurre muy seguido en los proyectos tratados por Industrias del Pacífico.

### **5.3 VALIDACIÓN DEL PROGRAMA**

Comparar los resultados con un caso específico real, permitió evaluar y validar el desempeño del programa. Mediante estas comparaciones, se afirma que el programa cuenta con una confiabilidad del 97%. Además, la estructura del programa que se ha logrado con el algoritmo y las configuraciones de diseño propuestas, hacen viable su uso para el cálculo de material de tuberías en acero al carbón y acero inoxidable con costura de futuros proyectos.

El programa será de gran utilidad para Industrias del Pacífico, ya que permite una estandarización dentro del proceso de planeación de proyectos enfocados en la construcción de tuberías de acero de diámetros mayores a 14”.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- Los resultados obtenidos satisfacen con los objetivos planteados al inicio de este trabajo. Esto nos anima a trabajar en un futuro inmediato en nuevas líneas de investigación que permitan extender el trabajo desarrollado.
- Los programas computacionales enfocados a los procesos de ingeniería, facilitan la toma de decisiones y les permite al personal a cargo, mejorar las estrategias de planeación para llevar a cabo los distintos proyectos. Además, permite a la empresa ser más competitiva por los ahorros en cantidades de material, aumentando las probabilidades de éxito en la adjudicación de proyectos.
- El desarrollo de este trabajo permitió afianzar y obtener nuevos conocimientos relacionados con la Ingeniería Mecánica tales como: normas internacionales ASME, ANSI, API, procedimientos y aplicación de soldadura , procedimientos de fabricación de tuberías con costura, uso de tuberías de gran diámetro en la Industria Azucarera para el manejo de vapor de escape, especificaciones técnicas de materiales y su respectiva comercialización, confiabilidad en la lectura e interpretación de planos.
- Para este trabajo ha sido necesario comprender conceptos de programación y de diseño. Entender dichos conceptos permitió desarrollar un programa computacional que facilita el cumplimiento de los objetivos de una manera cómoda, rápida y eficaz.
- Para darle solución a un problema se requiere identificar no solamente su causa principal, sino también la metodología o proceso donde se encuentra la falla. Esto permitió, para este trabajo, tener los fundamentos necesarios para seleccionar las variables y realizar la estructura de los algoritmos.

## **6.2 APORTES**

La solución a un problema productivo conlleva a mejoramientos y optimizaciones de los sistemas, que permiten a las empresas ser más eficientes, tener mejor rentabilidad y mejor calidad de vida para su personal, debido al aprovechamiento máximo de tiempo y por ende de los recursos humanos utilizados. Además, le garantiza la sostenibilidad en el mercado y la mantiene competente.

Como profesionales, estas prácticas empresariales nos permiten fijar conocimientos, nos da una mejor visión del papel que vamos a desempeñar en la Industria y cómo podemos aportar al desarrollo de las empresas y por ende al sistema Industrial de nuestro país, a cualquier nivel.

## **6.3 RECOMENDACIONES**

- Para la correcta ejecución del programa se desarrolló un manual de operación (ver anexo B). Se recomienda revisar este manual para aclarar posibles dudas y para obtener resultados positivos mediante el programa.
- El programa al trabajar de manera individual con la tubería de 30” en formatos de lámina 5x10 ft, realiza el cálculo de nuevas tuberías a partir de aproximadamente cuatro sobrantes de 654 mm. Así que se recomienda al ingeniero utilizar formatos de lámina de 5x20 ft para trabajar de manera individual este tipo de tuberías. De esta manera se obtendría una configuración de una nueva tubería de 30” a partir de tres sobrantes.
- Se recomienda al ingeniero a cargo, que durante la implementación del programa, tenga en cuenta los criterios de fabricación estipulados en éste, específicamente, la cantidad de sobrantes para una nueva tubería. De esta manera se obtendrán resultados positivos mediante el programa.

- Tomando como base los resultados obtenidos, se propone como trabajo futuro, la incorporación de una opción que muestre los diseños de tira y las combinaciones que el programa establece, con el fin de que el ingeniero pueda identificar y pasar las especificaciones de los cortes a los operarios encargados del proceso de fabricación. De esta manera, quedaría un programa mucho más compacto, que estandariza tanto el proceso de respuesta a los clientes como el de cortes a las láminas dentro de la ejecución de los proyectos que incluyen tuberías con costura.
- Se propone también como trabajo futuro, tal como se planteó junto al Ingeniero de Proyectos de la empresa, desarrollar un programa con una estructura similar para calcular la cantidad de material que se requiere en la fabricación de tanques atmosféricos.



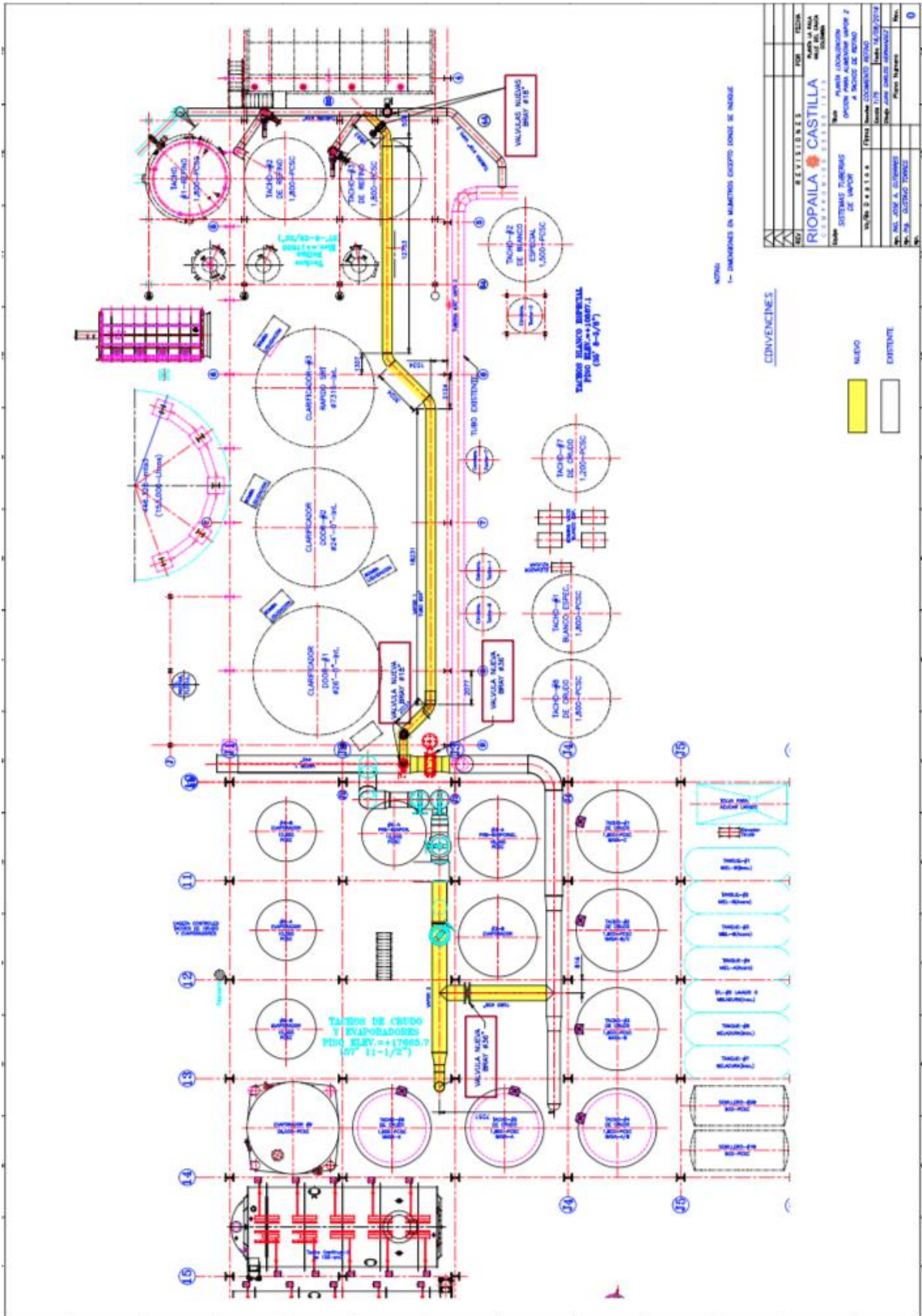
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Industrias del Pacifico S.A.S. [En línea] [Último acceso: Diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.industriasdelpacifico.com>
- [2] Ellenberger, Phillip. (2014). "Piping and Pipeline Calculations Manual". 2<sup>nd</sup> edition. New York: Elsevier.
- [3] ASME B31.1 (2001). "Power Piping". ASME Code for Pressure Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [4] Twort, Alan C., Ratnayaka, D. & Brandt, M. J. (2000). "Water Supply". 5th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [5] McAllister, E. W. (2005). "Pipeline Rules of Thumb Handbook". 6th edition. New York: Gulf Professional Publishing.
- [6] Nayyar, M. L. (1999). "Piping Handbook". 7<sup>th</sup> edition. New York: McGraw Hill.
- [7] ANSI/AWS D1.1 (2015). "Código de Soldadura Estructural-acero". AWS authorized spanish language version. American Welding Society.
- [8] INDURA S.A. (2010). "Manual de Aceros Inoxidables". Chile: 2M Impresores Ltda.
- [9] TUBACERO S.A. "Catálogo General: Tubería en acero carbón e inoxidable". [En línea][Último acceso: Diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.tubacero.es>
- [10] Golzman, Fernando. (2003). "Curso de Cañerías Industriales (Piping)". Montevideo: Facultad de Ingeniería Mecánica, Campus Virtual de la Universidad del Trabajo de Uruguay.
- [11] Vasconcelos, Jorge. (2000). "Manual de Construcción de Programas". México D.F.: Grupo Editorial Patria.
- [12] Juganaru, Mathieu. (2014). "Introducción a la Programación". 1er edición. México D.F.: Grupo Editorial Patria.
- [13] Llinàs, M. M. & Fernandez, M. I. (2000). "Algorítmica y Programación para Ingenieros". Barcelona: Ediciones UPC España.
- [14] Cooper, A. (2014). "The Essentials of Interaction Design". 4<sup>th</sup> edition. Indianapolis, Canada.
- [15] Monjo, T. (2011). "Diseño de interfaces multimedia". Madrid: Ediciones Eureka Media.
- [16] Tidwell, J. (2010). "Designing interfaces". 2<sup>nd</sup> edition. New York: Ed. O'Reilly Media.

- [17] Farnell, W. & Adler, L. (1972). "Elastic wave propagation in thin layers". New York: Academic Press.
- [18] Soldexa & Oerlikon. (2015). "Manual de Soldadura & Catálogo de Productos EXSA-OERLIKON". 7ma edición. Lima, Peru.
- [19] Lopez, A. & Lopez J. (2015). "Manual Oxicorte Teórico-Práctico". Almería, España: Área de Ingeniería Mecánica, Universidad de Almería.
- [20] Hypertherm, Inc. (2007). "Manual del Operador: Sistema de corte por plasma". Nuevo Hampshire, Estados Unidos.
- [21] Monroy, Benjamín. (2008). "Curso elemental de diseño de Tuberías Industriales: Fundamentos y su aplicación en Ingeniería". México D.F.: PDF vol. 1. [En línea] [Último acceso: Diciembre 2018]. Disponible en: <https://vdocuments.net/curso-elemental-de-diseño-de-tuberias.html>
- [22] Grimolizzi, Gustavo. (2008). "Manejo y Transporte de Fluidos". Buenos Aires: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional-Buenos Aires.
- [23] Velásquez, H. I. (2000). "Principios básicos para el diseño de líneas de vapor". Medellín: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia.

## **ANEXOS**

## ANEXO A



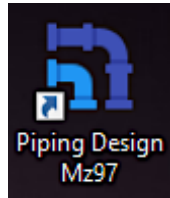


## ANEXO B

### MANUAL DE OPERACIÓN PROGRAMA COMPUTACIONAL “PIPING DESIGN Mz97”

Para el correcto funcionamiento del programa computacional, se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Ejecutar el programa, dando doble click sobre el icono:



2. Para seleccionar los diámetros de la tubería, se da click sobre la casilla que aparece al lado de cada tipo de diámetro. Si se desea cancelar la selección, entonces nuevamente se da click sobre la misma casilla.

<input type="checkbox"/> Diámetro 14"	Longitud de Tubería [m] (*)
<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 14"	Longitud de Tubería [m] (*)

3. Después de seleccionar el diámetro, se habilitará la opción de ingresar la longitud de tubería. Esta opción aparece al lado derecho de cada tipo de diámetro. Importante tener en cuenta que si se selecciona un tipo de diámetro y no se incluye la longitud de tubería, los resultados del programa no serán los esperados.

La longitud de tubería se ingresa en metros. En caso de ingresar un número decimal, se debe utilizar la coma (,) como separador decimal.

<input checked="" type="checkbox"/> Diámetro 14"	Longitud de Tubería [m] (*)
	10

4. Seleccionar las dimensiones de las láminas, dando click sobre las opciones que aparecen en la parte inferior del menú principal. El programa solo permite escoger una de estas opciones. En caso de cambiar la opción, se da click sobre la nueva opción a escoger.

Acero Inoxidable	Acero al Carbón
<input checked="" type="radio"/> 5 X 10 ft <input type="radio"/> 5 X 20 ft	<input type="radio"/> 4 X 8 ft <input type="radio"/> 6 X 20 ft

5. Después de ingresar toda la información a criterio del usuario, se procede al proceso de cálculo dando click sobre el botón “Realizar Cálculo”, ubicado en la parte inferior derecha del menú principal.

**Nota:** Sí no se ingresa la información pertinente y no se realiza alguno de los pasos 3, 4 o 5, los resultados del programa no serán los esperados.

6. El programa muestra los resultados del cálculo mediante una ventana emergente. Sí se desea terminar el proceso, se da click sobre el botón “Regresar” y el programa se re direccionará al menú principal. Sí por el contrario, desea saber el peso total en kilogramos de la tubería seleccionada, entonces se da click sobre el botón “Kg a Montar”.

#### RESULTADOS DEL CALCULO

Se requieren 3 lámina(s) en formato 5 x 10 ft

para fabricar la(s) tubería(s) seleccionada(s)

Kg a Montar

Regresar

7. Para el peso total en kilogramos de la tubería seleccionada, se requiere definir el espesor de la lámina. El programa solo permite seleccionar una de las dos opciones. Una vez seleccionado el espesor, se da click sobre el botón “Realizar Cálculo”.

PESO TOTAL A INSTALAR

☒ Espesor 1/4"

☐ Espesor 3/8"

Realizar Cálculo

8. El programa muestra los resultados del cálculo mediante una nueva ventana emergente. Para terminar con el proceso se da click sobre el botón “Regresar” y el programa se re direccionará al menú principal.

#### RESULTADOS DEL CALCULO

El peso total a instalar es de: 697 Kg

Regresar